



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ  
TURKISH ACADEMY OF SCIENCES

# TÜBA JEOTERMAL ENERJİ TEKNOLOJİLERİ RAPORU

**Editörler:**

Prof. Dr. İbrahim DİNÇER  
Doç. Dr. Mehmet Akif EZAN

Ankara - 2020





TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ  
TURKISH ACADEMY OF SCIENCES

# TÜBA JEOTERMAL ENERJİ TEKNOLOJİLERİ RAPORU

“Bu rapor, TÜBA-Enerji Çalışma Grubu tarafından Afyon Kocatepe Üniversitesi ev sahipliğinde 19 – 20 Şubat 2020 tarihlerinde Afyonkarahisar’da gerçekleştirilen TÜBA – Jeotermal Enerji Teknolojileri ve Panelinde sunulan bildirimlerden derlenerek oluşturulmuştur.”

*Ankara, 2020*

**TÜBA Jeotermal Enerji Teknolojileri Raporu**

Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, TÜBA Raporları No: 41

ISBN: 978-605-2249-54-3

**Editörler:** Prof. Dr. İbrahim DİNÇER

Doç. Dr. Mehmet Akif EZAN

**Program Sorumlusu:** Dr. Zeynep BİRER

**Grafik Tasarım:** Ece YAVUZ

**Baskı:** Berk Grup Matbaacılık

Kasım 2020, 1000 Adet

# İÇİNDEKİLER

SUNUŞ · Prof. Dr. Muzaffer ŞEKER / TÜBA Başkanı .....	5
ÖNSÖZ · Prof. Dr. İbrahim DİNÇER / TÜBA-Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü .....	7
TEŞEKKÜR .....	9
ÖZET .....	11
<b>1. GİRİŞ</b> .....	13
1.1. Küresel Enerji Tüketimine Genel Bakış .....	14
1.2. Türkiye'nin Enerji Tüketimine Genel Bakış .....	18
<b>2. JEOTERMAL ENERJİ ve KULLANIM ALANLARI</b> .....	24
<b>3. ÜLKEMİZDE JEOTERMAL KAYNAKLAR ve KULLANIM ALANLARI</b> .....	29
3.1. MTA Genel Müdürlüğü Çalışmaları .....	29
3.1.2. MTA Genel Müdürlüğü Jeotermal Kaynak Arama Çalışmaları .....	31
3.2. Ülkemizde Jeotermal Kaynak Durumu .....	32
3.3. Ülkemizde Jeotermal (Toprak) Kaynaklı Isı Pompaları Üzerine Yapılan Çalışmalar .....	41
3.3.1. Terminoloji ve Etkinlik/Verim Tanımları .....	42
3.3.2. TKIP'larının Kısa Tarihsel Gelişimi .....	43
3.3.3. TKIP'larının Mevcut Durumu .....	44
3.3.4. TKIP'larının Piyasada Gelişimini Etkileyen Faktörler ve Teknolojik Gelişim Yönleri .....	46
3.3.5. Ülkemizde TKIP Konusunda Yapılabilecek Çalışmalar .....	47
3.4. Ülkemizde Jeotermal Kaynaklı Pilot Sağlık Projesi .....	49
<b>4. JEOTERMAL ALANINDA ARAŞTIRMA FAALİYETLERİ ve ÇEVRESEL ETKİLER</b> .....	52
4.1. İzmir Jeotermal Enerji Isıtma Sisteminde Bina Altı Motorlu Debi Kontrol Sistemi .....	52
4.1.1. İzmir Jeotermal Enerji – Mevcut Durum ve Projeksiyon .....	52
4.1.2. Bölgesel Isıtma Sistemi Tasarım Unsurları .....	56
4.1.3. İzmir Jeotermal Bölge Isıtma Sisteminde Bina Altı Debi Kontrol Sistemi Uygulaması .....	58
4.2. Atmosfere Salınan Yoğuşmayan Gazlar (Non-Condensable Gases – NCG) .....	63
4.2.1. Jeotermal Akışkanlarda CO <sub>2</sub> Çözünürlüğü .....	64
4.2.2. Jeotermal Akışkanlarda CO <sub>2</sub> 'nin Çözünme Kinetiği .....	65
4.2.3. Jeotermal Akışkan İçerisinde CO <sub>2</sub> 'nin Basınçlandırılarak Çözülmesi ve Re-enjeksiyonu .....	66
4.2.4. CO <sub>2</sub> Çözünerek Re-enjekte Edilen Jeotermal Akışkanın Rezervuardaki Davranışının İncelenmesi .....	67

4.3. Jeofizik Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemlerle Jeotermal Aramalar .....	69
4.3.1. Alaşehir Alt Grabeni MT verilerinin 2B ve 3B Ters Çözümlemesi .....	71
4.4. Jeotermal Enerji Santrallerinde Çevreci ve Verimlilik Artırıcı Teknolojiler .....	74
4.4.1. GECO (Geothermal Emission Control) Projesi .....	75
4.4.2. GeoSmart Projesi .....	76
4.4.3. GEOPRO Projesi .....	77
4.4.4. SUCCEED Projesi .....	77
4.4.5. Değerlendirme .....	77
4.5. Sürdürülebilirlik ve Jeotermal Enerji Kaynaklı Çoklu Üretim Sistemleri .....	78
4.6. Jeotermal Akışkanlardan Değerli Metal Kazanımı .....	85
4.6.1. Jeotermal Akışkanlarda Değerli Metal Oluşumu ve Kazanımı .....	85
4.6.2. Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) Bölgesi Jeotermal Sularından Lityum Kazanımı .....	86
<b>5. DEĞERLENDİRMELER .....</b>	<b>88</b>
5.1. Ülkemizde Enerji Politikaları ve Yasal Durum .....	88
5.2. Jeotermal Enerji Sektörünün Gelişimi ve Yaşanan Sorunlar .....	92
5.3. Jeotermal Kaynakların Çevresel Etkileri .....	93
5.3.1. Su kirliliği .....	94
5.3.2. Hava kirliliği .....	94
5.3.3. Görsel ve İşitsel Kirlilik .....	94
5.3.4. Çökme ve Mikrosismisite .....	95
5.3.5. Çevresel Etkileri Gidermeye Yönelik Öneriler ve Yenilikçi Yöntemler .....	95
5.4. Jeotermal Sistemlerde Karşılaşılan Sorunlar .....	96
5.5. Risk Paylaşım Mekanizması (RPM) .....	97
5.5.1. Risk Paylaşım Mekanizması Uygulama Aşamaları .....	100
5.5.2. RPM Çevre Sosyal Konular Uygulama Süreci .....	101
5.5.3. Yeni Zelanda ve İzlanda Jeotermal Kanun Düzenlemelerinin Değerlendirilmesi .....	102
<b>6. SONUÇ ve TAVSİYELER .....</b>	<b>107</b>
<b>7. KAYNAKLAR .....</b>	<b>112</b>
TÜBA-JEOTERMAL ENERJİ TEKNOLOJİLERİ ÇALIŞTAYI ve PANELİ PROGRAMI .....	118



2023 ve 2071 hedeflerimiz doğrultusunda sanayimizin ve insanımızın refah seviyesini daha yükseğe taşımak istiyorsak enerjiyi hem sürdürülebilir kılmak hem de enerjiden maksimum düzeyde istifade etmek için fiyatlandırmayı en alt düzeye indirmek zorundayız. Sıralanan tüm bu unsurlar birbirini desteklemekte, tetiklemekte ve etkilemektedir. El birliğiyle bizler de stratejik planda, Türkiye'nin öncelikli AR-GE alanlarında yer alan enerji paydasında TÜBA-Enerji Çalışma Grubumuzla rüzgârdan nükleere, güneşten doğalgaza kadar tüm kaynaklarımızı multi-disipliner bakış ve hibrit enerjiyle yeni biyoenerji kaynaklarıyla daha iyi daha verimli daha ucuz nasıl elde edebiliriz sorusunun cevabını arıyoruz.

Enerji, bireylerin günlük hayatındaki hayati rolünün yanı sıra devletler ve medeniyetlerin en önemli gelişmişlik göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ülkeler uzun dönemli hedefleri doğrultusunda topyekûn kalkınmasına fayda sağlayacak adımlar ile enerji çeşitliliklerini ve verimliliklerini artıracak politikaları uygulamaya devam ederken, bu konuda ülkemizde de önemli adımlar atılmaktadır. Bu politikaların bilimsel veriler ışığında ve akademik göstergeleri baz alarak hayata geçirilmesi ise bizleri daha istikrarlı ve kararlı kılmaktadır. Bu yüzden son dönemde enerji verimliliği ve çeşitliliği konusunda yapılanlar düşünüldüğünde, TÜBA-Jeotermal Enerji

Teknolojileri Çalıştayı ve Panelimiz önem arz etmektedir. TÜBA-Enerji Çalışma Grubumuzun daha önce icra etmiş olduğu Nükleer, Rüzgâr, Güneş, Temiz Kömür ve Enerji Depolama gibi enerji kaynaklarına yönelik çalıştaylara benzer şekilde "TÜBA-Jeotermal Enerji Çalıştayı ve Paneli"nin de alanına katkı sağlayacağını ve karar alıcılar/politika yapıcılar için yol gösterici nitelikte olacağına inanıyorum. TÜBA'nın çeşitli alanlarda oluşturduğu çalışma gruplarının tematik faaliyetleri sayesinde ortaya konan raporlamalar, bu tür bilimsel toplantıların önemini ortaya koymaktadır.

Çalıştay ve panelin gerçekleştirilmesi ile Raporun hazırlanması ve yayımında emeği geçen Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü Prof. Dr. İbrahim DİNÇER ve çalışma grubu üyelerine, raporun hazırlanmasına katkı sunan bilim insanlarımıza, çalıştay ve panele ev sahipliği yapan Afyon Kocatepe Üniversitesine, Akademi üyelerimize, ilgili kurum, kuruluş yönetici ve uzmanlarına, katılımcılara ve emeği geçen tüm paydaşlarımıza teşekkürlerimi, en iyi dileklerimi ve saygılarımı sunuyor, raporun konuyla ilgili karar alıcı ve uygulayıcılar için yararlı bir kaynak olmasını diliyorum.

**Prof. Dr. Muzaffer ŞEKER**  
TÜBA Başkanı







TÜBA'nın bilim temelli “rehberlik” ve “danışmanlık” görevi kapsamında TÜBA–Enerji Çalışma Grubu tarafından daha önce düzenlenen Nükleer, Rüzgâr, Güneş, Temiz Kömür ve Enerji Depolama çalıştaylarının bir devamı olarak jeotermal enerji alanında araştırmalar yapan bilim insanlarının yanı sıra, kamu ve özel sektör temsilcilerinin bir araya geldiği “TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri ve Çalıştay Paneli” 19–20 Şubat 2020 tarihlerinde, Afyon Kocatepe Üniversitesi’nde gerçekleştirilmiştir. Çeşitli kamu kurum ve kuruluşları, sanayi ve sivil toplum örgütlerinden temsilcilerin de katıldığı TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştay ve Panelinin açılış konuşmaları bölümünde, Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Mehmet KARAKAŞ, TÜBA Başkanı Prof. Dr. Muzaffer ŞEKER ve Afyonkarahisar Valisi Mustafa TUTULMAZ jeotermal kaynakların ülkemiz açısından önemi ve gerçekleştirilen çalıştayın bu alandaki rolü üzerine önemli mesajlar vermişlerdir. Çalıştayın amacı, jeotermal enerji konusunda paydaşları bir araya getirerek bilgi paylaşım platformu oluşturmak; öncelikli teknolojileri, yenilikleri, kaynakları, mevzuat sorunlarını ve yaşanan problemleri tartışmak; jeotermal enerji kaynakları ve teknolojilerine ilişkin durum tespiti yapmak; öneri ve çözümleri ortaya koymaktır. Etkinlik kapsamında, dört oturum ve iki panel yapılmıştır. Etkinlik kapsamında 19 konuşmacı ve 12 panelist

görüş ve önerilerini dile getirmişlerdir. Çalıştayın birinci oturumunda ülkemizde ve dünyada jeotermal alanında öne çıkan güncel uygulamalar değerlendirilerek Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından uygulanan yerleştirme teşvikleri ve milli enerji politikası ele alınmıştır. Oturumda ayrıca Kırşehir ve Afyon’da elektrik üretimi dışında bölgesel ısıtma, sağlık turizmi ve tarımsal uygulamalar gibi jeotermal enerjinin etkin kullanımına yönelik yenilikçi uygulamalar paylaşılmıştır. Çalıştayın ikinci ve üçüncü oturumlarında ise jeotermal enerjinin çoklu sistemlerle entegrasyonu, çevresel etkileri ve jeotermal arama çalışmalarında jeofizik yöntem uygulamaları üzerine teknik sunumlar gerçekleştirilmiştir. Çalıştayın son oturumunda ise MTA tarafından yürütülen jeotermal arama faaliyetleri, jeotermal kaynaklı ısı pompaları ve jeotermal enerji yatırımlarının finansal boyutuyla birlikte risk paylaşım mekanizması üzerine bilgi paylaşımları yapılmıştır. Etkinliğin ikinci gününde jeotermal enerji konusunda uzman araştırmacılar, kamu ve özel sektör temsilcilerinin katılımlarıyla iki panel oturumu düzenlenmiştir. Panel oturumlarında jeotermal enerji mevzuatları ve yatırımları konularında yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

Bu rapor, Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) bünyesinde oluşturulan “Enerji Çalışma Grubu” tarafından düzenlenen “TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri ve Çalıştay Paneli”nde sunulan bildirimler esas olmak üzere, güncel literatürden taranan bilimsel çalışmaların derlenmesiyle hazırlanmıştır.

Etkinlik Komitesi Adına  
**Prof. Dr. İbrahim DİNÇER**  
 TÜBA-Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü



## TEŞEKKÜR

Gerek etkinliğimize gerekse raporun hazırlanmasında katkısı bulunan aşağıda isimleri yazılı olan devlet ve vakıf üniversitelerinden bilim insanları ile bakanlıklardan, çeşitli sanayi şirketlerinden ve sivil toplum derneklerinden yöneticiler ile konunun uzmanlarına Türkiye Bilimler Akademisi olarak teşekkür ederiz.

**İbrahim AKKUŞ**

*Jeoloji Mühendisleri Odası*

**Prof. Dr. Sadık KAKAÇ**

*TÜBA Şeref Üyesi*

**Prof. Dr. Niyazi AKSOY**

*Dokuz Eylül Üniversitesi*

**Prof. Dr. Vatan KARAKAYA**

*Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi*

**Hilal KIVANÇ ATEŞ**

*Kalkınma ve Yatırım Bankası*

**Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ**

*TÜBA Asli Üyesi*

**Prof. Dr. Alper BABA**

*İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü*

**Fahri Prof. Orhan MERTOĞLU**

*Türkiye Jeotermal Derneği*

**Prof. Dr. M. Emin CANDANSAYAR**

*Ankara Üniversitesi*

**Ayşe Yasemin ÖRÜCÜ**

*Dünya Bankası*

**Oktay ÇELMEN**

*Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü*

**İlker ÖZATA**

*Enerji İşleri Genel Müdürlüğü*

**Prof. Dr. İbrahim DİNÇER**

*TÜBA Asli Üyesi*

**Prof. Dr. Mustafa SOLAK**

*TÜBA Asli Üyesi*

**Tulu ERTEM**

*Türkiye Sınai Kalkınma Bankası*

**Dr. Yusuf ULUTÜRK**

*Afyon Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş.*

**Nusret GÜNGÖR**

*Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü*

**Prof. Dr. Ahmet YILDIZ**

*Afyon Kocatepe Üniversitesi*

**Ural HALAÇOĞLU**

*Zorlu Enerji Grubu*

**Koray YİĞİT**

*İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.*

**Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI**

*TÜBA Asli Üyesi*

Ayrıca çalıştay ve panel oturumlarında oturum başkanlığı ve moderatörlük görevleri yaparak etkinliğe katkı sağlayan Prof. Dr. Bahri ŞAHİN, Prof. Dr. Adnan MİDİLLİ ve Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU'na; organizasyona ev sahipliği yapan Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Mehmet KARAKAŞ'a, Enerji İşleri Genel Müdürlüğünden Sayın Ramazan USTA'ya; üniversite üst yönetimine ve organizasyonda görev alan üniversite personeline; organizasyonun her aşamasında destek veren Mühendislik Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Ahmet YILDIZ'a; organizasyon sponsoru Afyon Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş. (AFJET) yetkililerine; organizasyonda görev alan TÜBA çalışma arkadaşlarımıza ve organizasyona katkı koyan tüm gönüllülere ve jeotermal dostlarına teşekkür ederiz.



## ÖZET

Ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedefleri sosyal, ekonomik, kültürel, sağlık, çevre ve iklim gibi çok yönlü disiplinleri bir araya getirmektedir. Artan nüfus, teknolojik gelişmeler ve beraberinde yükselen yaşam standartları nedeniyle yıllar içerisinde üstel olarak artan enerji talebine temiz ve sürdürülebilir çözüm arayışları çok yönlü olarak ele alınmaktadır. İnsan kaynaklı küresel ısınma ve iklim değişiminin olumsuz etkileri tüm dünyada hissedilmekte ve ortaya konulan olumsuz öngörülerin önüne geçmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim hızlanmaktadır. Ülkemiz özellikle Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) sayesinde yakaladığı ivme ile güneş ve rüzgar enerjisinin yanı sıra biyokütle ve jeotermal alanlarında belirgin kapasite artışları elde etmiştir. Yerli kaynak kullanımı ve yerli ekipman üretimini teşvik eden bu düzenlemeler sayesinde ülkemizin enerji bağımsızlığı teminat altına alınmaktadır.

Ülkemiz sahip olduğu jeotermal enerji kapasitesi göz önüne alındığında dünyada altıncı, Avrupa’da ise birinci sırada yer almaktadır. Ülkemizin jeolojik yapısı gereği hemen hemen tüm bölgelerinde farklı sıcaklıklarda jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Bu kaynaklar halihazırda elektrik üretimi, konut ısıtması, seracılık ve sağlık turizmi gibi çok yönlü amaçlar için kullanılmaktadır. Ülkemizin sahip olduğu bu doğal kaynağın etkin ve çevre dostu uygulamalar ile bölge halkının da talepleri gözetilerek topyekün kalkınma hedefiyle değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle, atılacak tüm adımlar ve geleceğe yönelik planlamalar, konuyla ilgili bilim insanları, sektör temsilcileri, ilgili kamu ve özel kurumların temsilcileri ve farklı STK’ların görüşleri alınarak oluşturulmalıdır. Bu amaç doğrultusunda, Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) bünyesinde oluşturulan “Enerji Çalışma Grubu” tarafından “Jeotermal Enerji Teknolojileri” başlığı altında bir çalıştay ve panel organize edilerek, konuyla ilgili kamu ve özel sektör temsilcileri ile akademisyenlerden oluşan geniş kapsamlı bir bilgi paylaşım platformu oluşturulmuştur. Bu raporun hazırlanmasında çalıştay kapsamında sunulan bildirimler ve literatürde öne çıkan güncel bilimsel çalışmalar temel alınmıştır. Raporun ilk bölümünde küresel ölçekte ve ülkemiz özelinde enerji üretim/tüketim istatistikleri karşılaştırmalı olarak sunulduktan sonra gelecek projeksiyonları özetlenerek yenilenebilir enerji uygulamaları ve jeotermal enerjinin öne çıkan avantajlarına değinilmiştir. İkinci ve üçüncü bölümlerde jeotermal enerjinin dünyada ve ülkemizde kullanım alanları, bu konuda MTA tarafından yapılan çalışmalar, toprak kaynaklı ısı pompası uygulamaları ve ülkemizde jeotermal enerjinin sağlık turizminde uygulanmasına yönelik pilot çalışmalar detaylı olarak tartışılmıştır. Dördüncü bölümde jeotermal enerji alanında yürütülen araştırma faaliyetlerinden örnekler sunulmuştur. Bu bölümde bölgesel ısıtma sistemlerinde bina altı motorlu debi kontrol sisteminin sağladığı avantajlar, yoğunlaşmayan gazların çevreye olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik uygulamalar, jeotermal kaynak arayışında jeofizik yöntemlerin rolü ve jeotermal destekli çoklu üretim sistemleri hakkında yapılan araştırma sonuçları ve jeotermal akışkandan değerli metal kazanım yöntemleri ve bu konuda ülkemizde yürütülen bir uygulama örneği paylaşılmıştır. Beşinci bölümde ise ülkemizin enerji politikaları ve jeotermal enerji sektörünün gelişimi değerlendirilmiştir. Bu bölümde ayrıca, jeotermal kaynaklı çevre problemleri, bu problemlere çözüm önerileri ve jeotermal yatırımlarda risk paylaşım mekanizması hakkında detaylı tartışmalar sunulmuştur. Son bölümde ise ülkemizde jeotermal enerji kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımına yönelik atılması gereken adımlar, çözüm önerileri ve tavsiyeler kapsamlı bir şekilde değerlendirilerek görüş ve öneriler sunulmuştur.



# TÜBA-JEOTERMAL ENERJİ TEKNOLOJİLERİ RAPORU

## 1. GİRİŞ

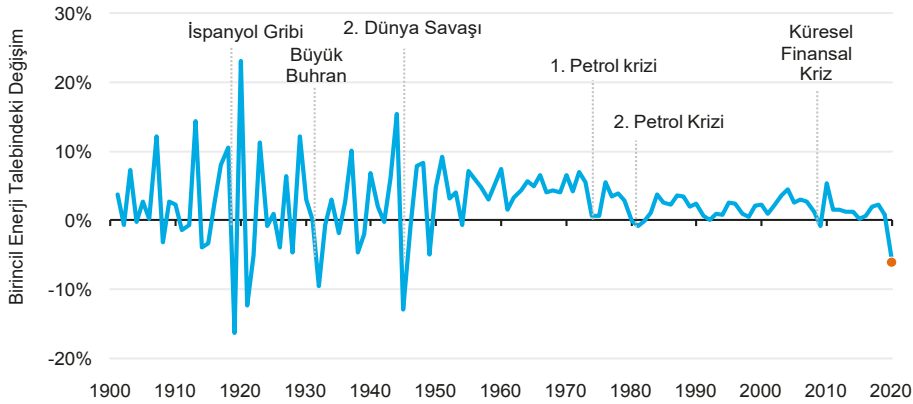
Birleşmiş Milletler (UN) tarafından hazırlanan “*sürdürülebilir gelişme hedefleri*” insanlığın gelecekte daha iyi ve sürdürülebilir bir yaşam sürebilmesi amacıyla oluşturulmuş 17 ana hedefi kapsamaktadır. Bu hedeflerin her biri birbiriyle ilişkili ve ortak bir amaç doğrultusunda birbirini tamamlayıcı bir yapıda desteklenmektedir. Sıralanan 17 hedef doğrultusunda eylem planları oluşturularak ilgili karar alıcı mekanizmalarla eş güdüm sağlanmaktadır. Tüm hedeflere 2030 yılı itibariyle ulaşarak, insanlığın şu anda yaşadığı ve gelecekte çok daha geniş kitleleri etkilemesi öngörülen problemlerin ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır. Sıralanan 17 hedef şu şekildedir: (1) Yoksulluğa son, (2) Açlığa son, (3) Sağlıklı ve kaliteli yaşam, (4) Nitelikli eğitim, (5) Toplumsal cinsiyet eşitliği, (6) Temiz su ve sanitasyon, (7) Erişilebilir ve temiz enerji, (8) İnsana yakışır iş ve ekonomik büyüme, (9) Sanayi, yenilikçilik ve altyapı, (10) Eşitsizliklerin azaltılması, (11) Sürdürülebilir şehirler ve topluluklar, (12) Sorumlu üretim ve tüketim, (13) İklim eylemi, (14) Sudaki yaşam, (15) Karasal yaşam, (16) Barış, adalet ve güçlü kurumlar ve (17) Amaçlar için ortaklık [1]. Görüldüğü üzere tüm hedefler insanlığın gelecekte barış ve refah içerisinde sağlıklı bir çevrede eşit yaşam kalitesine sahip bir şekilde yaşaması amacıyla ortaya koyulmaktadır. Sıralanan 17 hedeften “*İklim eylemi*” doğrudan veya dolaylı olarak dünyadaki insan, hayvan ve bitki popülasyonunu etkileyen ve giderek etkisini arttıran bir şekilde geri dönüşü olmayan kayıplara sebep olacak “*küresel ısınma*” ve “*iklim değişimi*” konularını ele almaktadır. Dünya Meteoroloji Organizasyonu (WMO) tarafından 2020 yılında yayınlanan 2019 yılı küresel durum raporuna göre 2019 yılı küresel ortalama sıcaklık değeri endüstri devrimi öncesi ortalama sıcaklık seviyesinin  $1,1 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$  üzerindedir [2]. 2019 yılı sıcaklık ölçüm değerleri tarihteki en yüksek ikinci sıcak yılı işaret etmektedir. Tarihsel olarak istatistikler değerlendirildiğinde geçtiğimiz beş yıl istisnasız bir şekilde en yüksek sıcaklık değerlerinin gözlemlendiği yıllar olarak raporlanmıştır [2]. Kayıtlara göre 2010–2019 yıllarını kapsayan 10 yıllık dönem en yüksek sıcaklıkların gözlemlendiği yıllardır. 1980’lerden itibaren birbirini takip eden her on yıllık dönemde bir önceki dönemden daha yüksek ortalama sıcaklık değerlerine ulaşılmıştır [2]. Son yıllarda etkisini arttıran sıcaklık artış trendi bitki ve hayvan çeşitliliğini tehdit etme noktasına ulaşmıştır. 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe giren Paris Anlaşması, 2020 sonrası süreçte iklim değişikliği tehlikesine karşı küresel sosyo/ekonomik dayanıklılığın güçlendirilmesini hedeflemektedir [3]. Paris Anlaşması’nın uzun dönemli hedefi, endüstrileşme öncesi döneme kıyasla küresel sıcaklık artışının  $2^{\circ}\text{C}$ ’nin olabildiğince altında tutulmasıdır [3]. Bu hedefe ulaşmak için yüksek karbon emisyonuna sebep olan fosil yakıt (petrol ve kömür) kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynak kullanımının yaygınlaşması gerekmektedir [3]. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından 2018 yılında yayınlanan raporda küresel sıcaklık artışının  $1,5^{\circ}\text{C}$ ’nin üzerine çıkması ve  $2^{\circ}\text{C}$ ’ye ulaşmasıyla dünya genelinde yaşanacak dramatik değişimler çarpıcı bir şekilde değerlendirilmektedir. Tablo 1’de  $0,5^{\circ}\text{C}$ ’nin insanlık için ne derece önemli olduğu karıştırılmalı olarak sunulmaktadır. Dünyamızın gelecekte yaşanılabilir olmasını sağlamak için hedef olarak sıcaklık artışının  $1,5^{\circ}\text{C}$  ile sınırlandırılması bir zorunluluktur [4].

Tablo 1. 0,5°C'lik küresel ısınmanın sebep olacağı etkiler ([5]’ten uyarlanmıştır)

ETKİ	1,5°C	2°C	2°C'nin etkisi
Bitki Türlerinin Kaybı	<b>%8</b> Yaşanabilir alanlarının yarısını kaybedecek bitki oranı	<b>%16</b> Yaşanabilir alanlarının yarısını kaybedecek bitki oranı	<b>2 kat</b> daha kötü
Böcek Türlerinin Kaybı	<b>%6</b> Yaşanabilir alanlarının yarısını kaybedecek böcek oranı	<b>%18</b> Yaşanabilir alanlarının yarısını kaybedecek böcek oranı	<b>3 kat</b> daha kötü
Mercan Resiflerindeki Azalma	<b>%70 – %90</b>	<b>%90</b>	<b>%29</b> daha kötü
Aşırı Isı Dalgaları	<b>%14</b> Her 5 yılda bir küresel nüfusun aşırı ısı dalgasına maruz kalma oranı	<b>%37</b> Her 5 yılda bir küresel nüfusun aşırı ısı dalgasına maruz kalma oranı	<b>2,6 kat</b> daha kötü
Kuzey Kutbunda Yaz Aylarında Deniz-Buzunun Olmaması	Her <b>100</b> yılda en az 1 kere	Her <b>10</b> yılda en az 1 kere	<b>10 kat</b> daha kötü

### 1.1. Küresel Enerji Tüketimine Genel Bakış

2019 yılında dünya genelinde hissedilen ekonomik daralma ve sonrasında yaşanan COVID-19 pandemi süreci enerji sektörünün tüm alt kollarında ciddi bir şekilde hissedilmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından hazırlanan 2020 yılı Dünya Enerji Değerlendirme raporunda COVID-19 etkisiyle enerji talebinde ve karbon emisyonunda meydana gelen hızlı değişimler Nisan ayı ortasına kadar detaylı bir şekilde değerlendirilmektedir [6]. Buna göre tamamen karantina uygulayan ülkelerde enerji tüketimi haftalık bazda ortalama %25 düşerken, kısmi karantina uygulama durumunda düşüş miktarı %18 seviyelerinde gözlenmiştir. COVID-19 kısıtlamalarının bir sonucu olarak 2020 yılının ilk çeyreğinde dünya genelinde enerji talebi %3,8 (veya 150 milyon TEP) düşmüştür [6].



Şekil 1. Birincil enerji talebindeki yıllık bazda değişim ([6]’dan uyarlanmıştır)

Şekil 1’de son yüzyıl içerisinde dünya genelinde etkili olan salgın hastalık, ekonomik kriz ve savaş gibi etkilerin enerji talebinde meydana getirdiği değişimler sunulmaktadır. 1900’lü yılların başında onar yıl arayla meydana gelen İspanyol gribi, büyük buhran ve 2. Dünya Savaşı etkisiyle büyük dalgalanmalar görülmektedir. 1970’lerden sonra yaşanan 1. ve 2. petrol krizlerinde azalış trendine giren yıllık bazda enerji talebi değişimi, 1990’lardan itibaren istikrarlı bir şekilde pozitif değerlerde seyretmiştir. En son 2008 yılında küresel finansal krizin etkisiyle yıllık bazda enerji talebinde negatif değerler görülmüştür.



2019 yılı sonu ve 2020 yılının ilk aylarında tüm dünyada etkisini gösteren COVID-19 pandemisinin bir sonucu olarak enerji talebindeki değişim son 70 yılın en düşük seviyesinde gözlenmiştir. IEA tarafından yapılan değerlendirmeye göre COVID-19'un enerji sektörü üzerine etkisi 2008 finansal krizinden yedi kat daha fazla olacaktır [6].

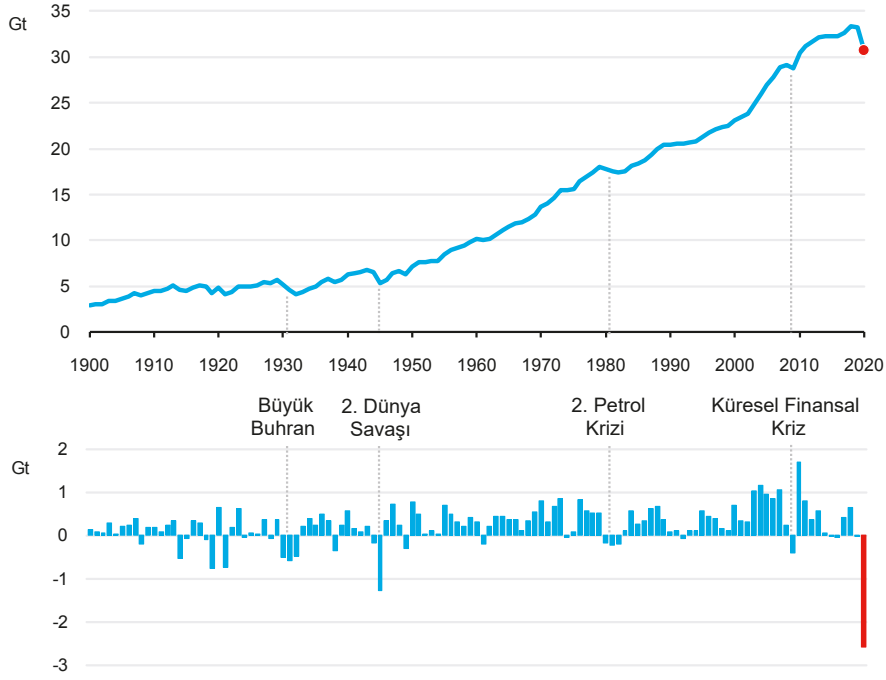
COVID-19 süreci ayırt etmeksizin tüm toplumları, şehirleri, ülkeleri, bölgeleri, sektörleri ve ekonomileri doğrudan veya dolaylı olarak etkisi altına almıştır. Sağlık, ekonomi ve finans, işgücü, eğitim, çevre, enerji, savunma, gıda ve tarım, teknoloji, sürdürülebilirlik gibi toplumsal ihtiyaçların tüm boyutları da bu süreçten etkilenmiş durumdadır. Birçok gelişmiş ve/veya gelişmekte olan ülkenin önlemleri tanımlamak, hükümetleri yönlendirmek ve sağlıkla ilgili konularda harekete geçmek için görev kuvvetleri, uzman grupları, danışma komiteleri veya bilim kurulları gibi oluşumlar kurduklarına tanık olmaktadır. Sağlıkla ilgili oluşturulan bu komitelerin yanı sıra aşağıdaki konulara da öncelik verecek yapıların devreye alınarak, her bir konu özelinde kısa ve uzun vadeli öngörüler ve planlamalar oluşturulmalıdır [7]:

- *Ekonomi ve finans,*
- *Kamu ve belediyeler,*
- *Çalışma, iş ve işveren,*
- *Sanayi ve ticaret,*
- *Basın ve yayın,*
- *Sosyal medya ve halkla ilişkiler,*
- *Aile işleri, sosyal politikalar ve uygulamalar,*
- *İçişleri ve dış işleri,*
- *İletişim,*
- *Adalet,*
- *Kültür,*
- *Eğitim,*
- *Çevre,*
- *Enerji,*
- *Güvenlik,*
- *Savunma,*
- *Ulaşım,*
- *Gıda ve tarım,*
- *Bilim ve teknoloji,*
- *Turizm,*
- *Spor,*
- *Sürdürülebilirlik*

COVID-19 küresel salgını özellikle yaşlıları, zayıf bağışıklık sistemine sahip olan ve çeşitli solunum ve kardiyovasküler hastalıklara yakalanan insanları daha çok etkilemiştir. Bu açıkça karbon çağına devam edemeyeceğimiz ve bu tür virüslere karşı artık kendimizi savunmasız bırakamayacağımız bir dönüm noktasıdır. Bu dönüm noktası, hidrojen ile yeni bir çağın açılması ve karbon çağına kapatılması için belirleyici bir andır. 2020 yılında koronavirüs salgını oluşum noktasına kadar hidrokarbon yakıtlarla devam eden karbon çağı, yerini hidrokarbon yakıtların (*fosil yakıtlar*) kullanımının katlanarak azalacağı ve hidrojen enerjisi kullanımının artacağı hidrojen çağına bırakacaktır. Bu hidrojen çağında, aşağıdaki faydaların sağlanması beklenmektedir [7]:

- *Daha iyi çevre,*
- *Daha iyi ekosistem,*
- *Daha iyi verimlilik,*
- *Daha iyi ekonomi ve ekonomik kalkınma,*
- *Yenilenebilir enerji seçenekleriyle daha iyi senkronizasyon,*
- *Daha iyi sağlık ve daha sağlıklı toplumlar,*
- *Daha iyi sürdürülebilir kalkınma*

IEA tarafından yapılan 2020 projeksiyonuna göre yenilenebilir enerji dışındaki yakıt türlerinde yıllık bazda önemli düşüşler öngörülmektedir. Karantina uygulamalarının sürelerine, kısıtların kapsamına ve virüs yayılma hızlarına bağlı olarak petrol ve kömür talebinin bir önceki yıla kıyasla sırasıyla %9 ve %8'e varan oranlarda azalabileceği raporlanmıştır [6]. Yüksek karbon emisyonuna sahip bu yakıtlara olan talebin düşmesiyle birlikte küresel bazda enerji kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonunda 2019 yılına kıyasla %8 azalma (2,6 Gt) öngörülmektedir (Şekil 2). Kömür ve petrol kaynaklı emisyonlarda yıllık bazda 1,1 Gt seviyelerinde azalma beklenmektedir. 2020 yılı sonu itibarıyla küresel karbon emisyonununun 30,6 Gt seviyelerinde kalarak 2010 yılı değerlerine düşebileceği tahmin edilmektedir [6].



Şekil 2. Enerji kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonunun yıllar içerisindeki değişimi ([6]'dan uyarlanmıştır)

Küresel ısınma ve iklim değişimi gibi tüm insanlığı ilgilendiren problemler için tehlike çanlarının çaldığı aşikârdır. Paris Anlaşmasında da vurgu yapıldığı üzere endüstrileşme öncesi döneme kıyasla küresel sıcaklık artışının 2°C'nin olabildiğince altında tutulması için Dünya genelinde birincil enerji kaynak kullanımında geleneksel karbon-bazlı enerji kaynaklarından uzaklaşmak bir zorunluluk haline gelmiştir. Paris anlaşmasından sonra etkisini arttıran karbonsuz gelecek hedefleri, insanlığı hem doğa dostu enerji kaynaklarına yöneltmiş hem de mevcut enerji tüketim alışkanlıklarını değiştirmelerine sebep olmuştur. Çevresel kaygılar, bilinçli enerji kullanımının yaygınlaşması ve yüksek enerji verimliliğine sahip sistemlerin veya ürünlerin tercih edilir olması, enerji tüketiminin hızlı artışını yavaşlatmaktadır. BP tarafından hazırlanan 2020 yılı enerji istatistikleri raporuna göre dünya genelinde enerji tüketimindeki yıllık artış miktarı 2018 yılında %2,8 iken, 2019 yılı itibariyle bu artış %1,3'e düşerek bir önceki yılın neredeyse yarı seviyesine inmiştir [8]. Tablo 2'de 2009–2019 yılları arasındaki enerji tüketim istatistikleri dünya geneli, OECD ülkeleri ve Avrupa Birliği ülkeleri için sunulmaktadır. 2019 yılı enerji tüketimi artışı son 10 yılın ortalamasının altındadır. Dünya geneli ortalamalarının tersine Avrupa Birliği ülkelerinde enerji tüketiminin bir önceki yıla kıyasla %1,4 düştüğü görülmektedir.

Tablo 2. 2009–2019 yılları arasında birincil enerji tüketim istatistikleri ([8]'den uyarlanmıştır)

Bölge	Tüketim (EJ)											Yıllık Değişim (%)	
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2019	2008-18
Dünya Geneli	482,82	506,02	518,31	524,98	534,91	539,25	543,17	550,60	560,42	576,23	583,90	1,3	1,6
OECD Ülkeleri	224,69	233,04	230,63	228,16	230,26	228,31	228,75	229,64	231,84	235,39	583,90	-0,8	< 0,05
Avrupa Birliği Ülkeleri	71,58	74,15	71,69	71,04	70,45	67,71	68,52	69,14	69,91	69,81	68,81	-1,4	-0,8

Enerji sektöründeki yatırımlar 2019 yılı için yoğun olarak yenilenebilir ve doğal gaz santrallerinde gözlenmektedir [8]. Düşük karbon emisyonuna neden olan bu yatırımların da kısmen etkisiyle, 2019 yılı için enerji kullanımından kaynaklı karbon emisyon artışı %0,5 olarak belirlenmiştir. Son 10 yılın ortalama değeri %1,1 iken, 2018 yılına ait yıllık artış miktarı ise %2,1 olarak raporlanmıştır. Buna göre, 2019 yılında karbon emisyonundaki artış eğiliminin önemli miktarda yavaşladığı söylenebilir. Tablo 3'te kaynak türlerine göre 2018 ve 2019 yılı enerji tüketim istatistikleri sunulmaktadır. Tablo 4'te ise her bir kaynak türündeki değişim raporlanmıştır. 2018 yılına kıyasla enerji tüketimindeki en yüksek artış yenilenebilir enerji kaleminde gözlenmiştir. Yenilenebilir kaynaklı enerji tüketimindeki artış miktarı 3,2 EJ iken, doğal gaz kaynaklı tüketimdeki artış miktarı 2,8 EJ olarak raporlanmıştır.

*Tablo 3. Kaynak türüne göre 2018 ve 2019 yılı birincil enerji tüketim istatistikleri ([8]'den uyarlanmıştır)*

Bölge	2018							2019						
	Petrol	Doğal Gaz	Kömür	Nükleer Enerji	Hidro	Yenilenebilir	Toplam	Petrol	Doğal Gaz	Kömür	Nükleer Enerji	Hidro	Yenilenebilir	Toplam
Dünya Geneli	191,45	138,66	158,79	24,16	37,34	25,83	<b>576,23</b>	193,03	141,45	157,86	24,92	37,66	28,98	<b>583,90</b>
OECD Ülkeleri	90,32	63,24	36,19	17,62	12,75	15,27	<b>235,39</b>	89,63	64,84	32,10	17,77	12,32	16,77	<b>233,43</b>
Avrupa Birliği Ülkeleri	26,49	16,46	9,37	7,40	3,12	6,97	<b>69,81</b>	26,39	16,90	7,69	7,33	2,94	7,54	<b>68,81</b>

\*Birim: ExaJoule (EJ)

*Tablo 4. Birincil enerji kaynaklarına göre 2019 yılı tüketim istatistikleri ([8]'den uyarlanmıştır)*

Enerji Kaynağı	Tüketim (EJ)	Yıllık Değişim (EJ)	Birincil Enerjideki Pay
<b>Petrol</b>	193,0	1,6	%33,1
<b>Doğal Gaz</b>	141,5	2,8	%24,2
<b>Kömür</b>	157,9	-0,9	%27,0
<b>Yenilenebilir</b>	29,0	3,2	%5,0
<b>Hidro</b>	37,6	0,3	%6,4
<b>Nükleer</b>	24,9	0,8	%4,3
<b>Toplam</b>	<b>583,9</b>	<b>7,7</b>	

\* Birim: ExaJoule (EJ)

Tablo 5'te 2009–2019 yılları arasındaki kişi başına yıllık enerji tüketimi değerleri OECD ülkeleri, Avrupa Birliği ülkeleri ve dünya geneli için sunulmaktadır. Buna göre Dünya genelinde yıllara göre kişi başı ortalama tüketim değeri artarken, Avrupa Birliği ülkelerinde tüketim yıllar içerisinde azalma eğilimi göstermiştir. 2018–2019 yılları kişi başı enerji tüketim değerleri mukayese edildiğinde OECD ülkelerinde %1,3'lük azalma gözlenirken, Avrupa Birliği ülkelerinde azalma miktarı %1,6 olarak tespit edilmiştir. OECD ve Avrupa Birliği ülkelerinde kişi başı enerji tüketim azalma eğilimine girmesine rağmen, dünya geneli ortalaması düşünüldüğünde ülkeler arasındaki tüketim farkı çarpıcıdır. OECD ülkelerinde kişi başı enerji tüketim değeri dünya ortalamasının 2,4 katıyken, Avrupa Birliği ülkelerinde bu fark 1,8 kat civarındadır.

Tablo 5. Birincil enerji tüketiminin 2009–2019 yılları arasındaki değişimi ([8]’den uyarlanmıştır)

Bölge	Kişi Başına Tüketim (GJ)											Yıllık Değişim (%)	
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2019	2008-18
Dünya Genel	70,2	72,7	73,6	73,7	74,2	73,9	73,6	73,8	74,2	75,5	75,7	0,2	0,4
OECD Ülkeleri	182,3	187,8	184,6	181,5	182,0	179,4	178,7	178,4	179,1	180,9	178,5	-1,3	-0,7
Avrupa Birliği Ülkeleri	142,8	147,5	142,2	140,6	139,1	133,4	134,7	135,7	136,9	136,4	134,3	-1,6	-1,1

## 1.2. Türkiye’nin Enerji Tüketimine Genel Bakış

Küresel ölçekte artan iklim değişikliği farkındalığı ülkemizde de karşılık bulmuş ve düşük (veya sıfır) karbon emisyonuna neden olan yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılmasına yönelik bu alanda yatırımcı teşvikleri ve yerli/millî aksam geliştirilmesine yönelik proje destekleri ve ilave teşvikler hayata geçirilmiştir. Tablo 6’da TEİAŞ verilerine göre ülkemizdeki toplam ve kişi başına elektrik üretim değerlerinin yıllar içerisindeki değişimi sunulmaktadır. Buna göre, kişi başına düşen kurulu güç değerinin 2000 – 2018 arasındaki 19 yılda 402 W’tan 1079 W seviyesine yaklaşık 2,7 kat arttığı görülmektedir. Enerji talebi 2014 – 2018 yılları arasındaki dönemde yıllık ortalama %3,9 artmıştır. Güncel istatistiklere göre, brüt elektrik talebi 2019 yılı sonu itibarı ile 303,6 TWh’tir [9].

Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu [11] çalışması referans senaryo sonuçlarına göre 2019 yılından itibaren elektrik enerjisi talebinin yıllık ortalama %3,6 artış göstermesi öngörülmektedir. Buna göre elektrik tüketiminin 2023 yılında 376 TWh, 2039 yılında ise 613 TWh seviyelerinde olacağı öngörülmektedir [9]. Kişi başına elektrik enerjisi talebinin düşük talep, referans talep ve yüksek talep senaryolarına göre değişimleri Tablo 7’de sunulmaktadır. Buna göre 2019 yılı itibarıyla 3,663 kWh olan kişi başına elektrik enerjisi talebi, referans talep senaryosuna göre 2023 yılında 4,220 kWh, 2039 yılında ise 5,577 kWh değerine ulaşacağı öngörülmektedir [9].

Kaynaklara göre elektrik kurulu gücümüzün yıllar içerisindeki değişimi Şekil 3’te sunulmaktadır. Tablo 8’de ise benzer istatistikler yerli kaynak kurulu gücü ve yerli kaynak payını içerecek şekilde detaylı sunulmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretiminde yıllar içerisinde özellikle güneş, rüzgâr ve jeotermal santrallerin kamu tarafından desteklenmesiyle hızlı bir yükseliş trendi gözlenmektedir.

Ülkemizde yenilenebilir kaynaklı yerli kurulu gücün yıllar içerisindeki değişimi incelendiğinde, uygulanan etkin teşvik mekanizmaları sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklı yerli kurulu güç kapasitemizde 2006-2018 yılları arasında önemli artışlar elde edilmiştir. Ülkemizde 2014 yılına kadar güneş destekli yerli kurulu güç bulunmazken 2006 yılı itibarıyla rüzgâr ve jeotermal kaynaklı santral kapasitelerinin 20 MW altında olduğu görülmektedir. 2006 sonrasında rüzgâr ve jeotermalde hızlı bir artış gözlenmektedir. 2006’da 23 MW seviyesinde olan jeotermal kaynaklı kurulu gücümüz 2018 yılı itibarıyla 1282,5 MW’a yükselmiştir. Rüzgâr santrallerinin kurulu gücü ise 59 MW seviyesinden 7005,4 MW’a yükselmiştir. En yüksek artış trendi ise güneş destekli güç üretim santrallerinde gözlenmektedir. 2014 yılında 40,2 MW olan güneş kaynaklı güç üretim kapasitesi 2018 sonunda 5062,8 MW’a ulaşmıştır.

**Tablo 6.** Türkiye’de toplam ve kişi başına kurulu güç, brüt üretim, arz ve net tüketiminin yıllar itibariyle değişimi ([10]’dan uyarlanmıştır)

Yıllar	Toplam						Kişi Başına				
	Nüfus <sup>(4)</sup>	Kurulu Güç	Brüt Üretim	Arz <sup>(1)</sup>	Brüt Talep <sup>(2)</sup>	Net Tüketim <sup>(3)</sup>	Kurulu Güç	Brüt Üretim	Arz	Brüt Talep	Net Tüketim
	(x1000)	(MW)	(GWh)	(GWh)	(GWh)	(GWh)	(Watt)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1975	40348	4186,6	15622,8	15126,9	15719,0	13491,7	104	387	375	390	334
1980	44737	5118,7	23275,4	23222,7	24616,6	20398,2	114	520	519	550	456
1990	56473	16317,6	57543	53500,3	56811,7	46820,0	289	1019	947	1006	829
2000	67845	27264,1	124921,6	122051,6	128275,6	98295,7	402	1841	1799	1891	1449
2007	70586	40835,7	191558,1	181781,8	190000,2	155135,2	579	2714	2575	2692	2198
2008	71517	41817,2	198418,0	189429,1	198085,2	161947,6	585	2774	2649	2770	2264
2009	72561	44761,2	194812,9	185885,5	194079,1	156894,1	617	2685	2562	2675	2162
2010	73723	49524,1	211207,7	202272,3	210434,0	172050,6	672	2865	2744	2854	2334
2011	74724	52911,1	229395,1	218468,9	230306,3	186099,5	708	3070	2924	3082	2490
2012	75627	57059,4	239496,8	230580,4	242369,9	194923,4	754	3167	3049	3205	2577
2013	76668	64007,5	240154,0	235179,7	246356,6	198045,2	835	3132	3068	3213	2583
2014	77696	69519,8	251962,8	244706,1	257220,1	207375,1	895	3243	3150	3311	2669
2015	78741	73146,7	261783,3	253840,6	265724,4	217312,2	929	3325	3224	3375	2760
2016	79814	78497,4	274407,7	266829,5	279286,4	231203,7	984	3438	3343	3499	2897
2017	80811	85200,0	297277,5	283682,1	296702,1	249022,7	1054	3679	3510	3672	3082
2018	82004	88500,8	304801,9	289867,2	304166,9	258232,2	1079	3717	3535	3709	3149

**Notlar:**

(1) Arz(Yurtiçi) = Brüt tüketim = Net Üretim + İthalat – İhracat

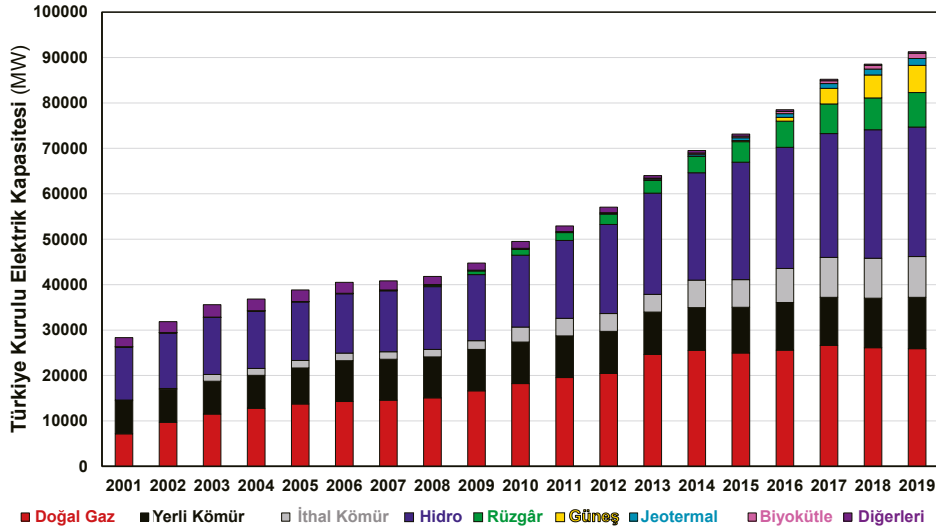
(2) Brüt Talep = Elektrik Gereksinmesi = Görünen Tüketim = Brüt Üretim + İthalat – İhracat

(3) Net Tüketim = Arz – Şebeke Kaybı

(4) TÜİK tarafından sayım yapılmayan yıllara ilişkin tahmin projeksiyonları henüz yayınlanmadığından sadece sayım yapılan yıllara ait değerler verilmektedir.

**Tablo 7.** Ülkemizde kişi başına elektrik enerjisi talebi (kWh) ([9]’dan uyarlanmıştır)

Yıl	Düşük Talep Senaryosu	Referans Talep Senaryosu	Yüksek Talep Senaryosu
2019	3,663	3,663	3,663
2023	4,220	4,324	4,432
2028	4,681	4,931	5,214
2039	5,577	6,149	6,815



Şekil 3. Elektrik kurulu kapasitesinde yenilenebilir kaynakların gelişimi ([9, 10]'dan uyarlanmıştır)

Tablo 8. Yerli enerji kaynaklarına ait kurulu gücün Türkiye toplam kurulu gücü içindeki payının yıllar itibariyle gelişimi (MW) ([10]'dan uyarlanmıştır)

Yıllar	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Yenilenebilir Atık + Atık Isı	Linyit	Taşkömürü + Asfaltit	Yerli Kaynak Kurulu Gücü	Türkiye Toplam Kurulu Gücü	Yerli Kaynak Payı %
2000	11175,2	17,5	18,9		23,8	6508,9	335,0	18079,3	27264,1	66,3
2001	11672,9	17,5	18,9		23,6	6510,7	335,0	18578,6	28332,4	65,6
2002	12240,9	17,5	18,9		27,6	6502,9	335,0	19142,8	31845,8	60,1
2003	12578,7	15,0	18,9		27,6	6438,9	335,0	19414,1	35587,0	54,6
2004	12645,4	15,0	18,9		27,6	6450,8	335,0	19492,7	36824,0	52,9
2005	12906,1	15,0	20,1		35,3	7130,8	335,0	20442,3	38843,5	52,6
2006	13062,7	23,0	59,0		41,3	8210,8	335,0	21731,7	40564,8	53,6
2007	13394,9	23,0	147,5		42,7	8211,4	335,0	22154,5	40835,7	54,3
2008	13828,7	29,8	363,7		59,7	8205,0	335,0	22821,9	41817,2	54,6
2009	14553,3	77,2	791,6		86,5	8199,3	470,0	24177,9	44761,2	54,0
2010	15831,2	94,2	1320,2		107,2	8199,3	470,0	26022,1	49524,1	52,5
2011	17137,1	114,2	1728,7		125,7	8199,3	470,0	27775,0	52911,1	52,5
2012	19609,4	162,2	2260,6		168,8	8193,3	470,0	30864,3	57059,4	54,1
2013	22289,0	310,8	2759,7		235,0	8223,2	470,0	34287,7	64007,5	53,6
2014	23643,2	404,9	3629,7	40,2	299,1	8281,3	470,0	36768,4	69519,8	52,9
2015	25867,8	623,9	4503,2	248,8	370,1	8663,4	755,0	41032,2	73146,7	56,1
2016	26681,1	820,9	5751,3	832,5	496,4	9126,5	755,0	44463,7	78497,4	56,6
2017	27273,1	1063,7	6516,2	3420,7	641,9	9129,1	782,5	48827,2	85200,0	57,3
2018	28291,4	1282,5	7005,4	5062,8	818,9	9456,1	782,5	52699,6	88550,8	59,5

Not: Çok yakıtlı santrallerin kurulu gücü dahil değildir.

Güncel istatistiklere göre, 2019 yılı sonunda ülkemizin toplam elektrik kurulu kapasitesi 91270 MW'tir [9]. Kurulu kapasitenin %61,5'i yerli ve yenilenebilir kaynaklara aittir. Yenilenebilir kaynakların payı %49,5 iken jeotermal enerji kaynaklı güç üretiminin payı %1,66'dır [9]. Tablo 9'da elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı sunulmaktadır. 2019 yılında üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı 304,2 TWh'dir. Üretilen elektrik enerjisi açısından yerli ve yenilenebilir kaynakların toplam payı %61,7'dir. Yenilenebilir kaynakların elektrik üretimindeki payı %43,9 iken jeotermal enerjinin payı ise %2,9'dur. 2019 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre yüzdelerle dağılımı Tablo 10'da sunulmaktadır. 2000'lerin başında %20 seviyelerinde olan yenilenebilir kaynakların payı günümüzde %50 seviyesine ulaşmış ve yenilenebilir enerji kullanımında kaynak çeşitliliği elde edilerek ülkemizin sahip olduğu yüksek potansiyel kullanılabilir hale gelmeye başlamıştır.

*Tablo 9. 2019 yılı elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı ([9]'dan uyarlanmıştır)*

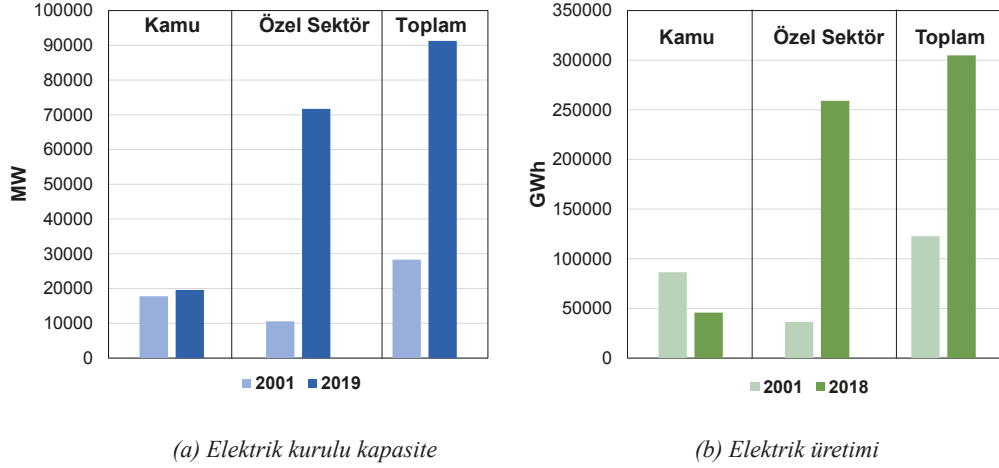
Kaynak	Kapasite (MW)
Doğal Gaz	25904
Kömür	20284
Hidro - Rezervuarlı	20643
Hidro - Nehir Tipi	7861
Rüzgar	7591
Güneş	5995
Jeotermal	1515
Biyokütle	802
Atık ısı	362
Diğer Yakıtlar	312
<b>TOPLAM</b>	<b>91270</b>

*Tablo 10. Farklı tip enerji kaynaklarının 2019 elektrik üretimindeki payları ([9]'dan uyarlanmıştır)*

Kaynak	Elektrik Üretimindeki Pay (%)
Doğal Gaz	18,64
Linyit	15,41
Kömür	1,16
Asfaltit	0,76
İthal Kömür	19,85
Fuel Oil	0,24
Biyokütle	1,49
Jeotermal	2,93
Hidrolik	29,21
Güneş	3,15
Rüzgar	7,16

Sunulan detaylı istatistiklerden görüldüğü üzere ülkemizde termik santrallere alternatif olarak rüzgâr ve güneş santrallerinin yanı sıra biyokütle ve jeotermal gibi ülkemizin büyük potansiyele sahip olduğu doğal enerji kaynakları da artık enerji üretimine belirgin katkı koymaya başlamıştır. Ülkemizde kamunun yanı sıra özel sektörün de yenilenebilir enerjinin farklı alanlarında yatırımlarını arttırmasıyla birlikte enerji üretimimiz son yirmi yılda dört kattan fazla artmıştır [9]. Şekil 4'te kamu ve özel

sektörün 2001 yılı ve 2018/2019 yıllarındaki kurulu kapasite/üretim miktarları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Buna göre, yıllar içerisinde özel sektör yatırımcısına sağlanan teşvikler ve ilgili kanun/yönetmelik düzenlemeleri sayesinde toplam elektrik enerjisi üretimde kamunun payı azalırken özel sektör öne çıkmaktadır.

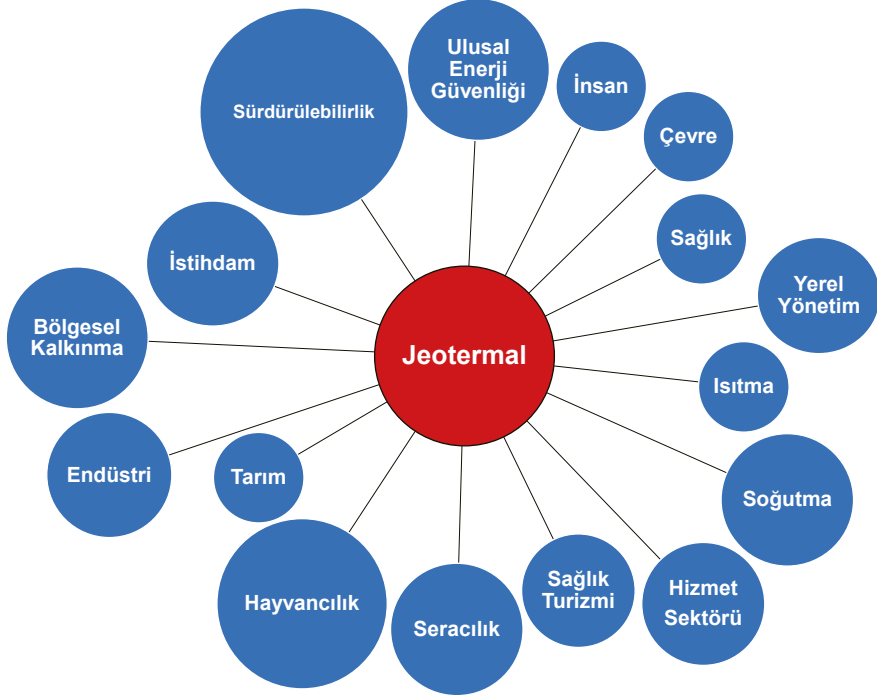


Şekil 4. Ülkemizde elektrik kurulu kapasitesi ve elektrik üretiminde özel sektör ve kamu payları ([9]’dan uyarlanmıştır)

TÜBA-Enerji Çalışma Grubu, *Temiz Kömür, Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi, Nükleer Enerji ve Enerji Depolama* teknolojileri konularında çalıştaylar düzenleyerek ülkemizde enerji alanında geleceği belirleyecek çalışma konularında yol haritalarına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Ülkemizin Jeotermal Enerji potansiyeli dünyada ilk beş arasında yer almaktadır. Doğanın kendi döngüsü içinde sürdürülebilirliğini sağlayan ve yüksek kapasitesi, düzenli ve güvenli özelliklerinin yanında, denetimi tamamen ülke kontrolünde olan jeotermal enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve bunlardan daha fazla fayda türetilmesi önem kazanmaktadır. Jeotermal enerjinin kullanımı sadece enerji sektörünün ilgi alanında olmayıp bulunduğu bölgelerde sosyolojik, ekonomik, kültürel ve çevresel etkiler oluşturmaktadır. Şekil 5’te jeotermal enerjinin etki yaptığı veya ilişkili olduğu kavramlar gösterilmektedir. Jeotermal enerji ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltacak ulusal bir kaynak olduğundan ulusal enerji güvenliğinde önemli bir role sahiptir. Jeotermal enerjinin kullanımında öncelik insan ve çevredir. Jeotermal kaynaklı enerji kullanımının insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkileri çok iyi etüt edilmeli ve bu konuda yerel halk çok iyi bilgilendirilmelidir. Yatırımcı ile halkın birbiriyle iletişim halinde olmasını sağlamada başta yerel yönetimlerin görev ve sorumluluk alması beklenmektedir. Jeotermal yatırımlar elektrik üretiminin yanı sıra bölgesel ısıtma ve soğutma imkânı da sağladığından çevresindeki yerleşim yerlerine yüksek konfor vadetmektedir. Jeotermal kaynaklı bölgesel ısıtma ve soğutma çözümleri düşük maliyette ve sıfır emisyonla sahip olması nedeniyle ekonomik ve çevresel avantajlara sahiptir. Konut ısıtmasına ilave olarak jeotermal kaynağın kullanıldığı bölgede sıcak su havuzlarının bulunduğu otel ve/veya kaplıca gibi yatırımlarla hem yerli hem de yabancı turistlere cazibe merkezleri oluşturularak ekonomik fayda sağlama potansiyeli de oldukça yüksektir. Jeotermal enerji farklı sıcaklıklarda ısıtma talebinin olduğu seralarda veya endüstriyel üretim tesislerinde enerji kaynağı olarak kullanılarak ucuz ve yerli enerjinin çok yönlü tüketiminin önü açılabilir. Jeotermal enerji uygun şekilde planlandığında hem tarım hem de hayvancılık için olumlu kazanımlar sağlayabilmektedir. Düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklı ısıtma enerji balık yetiştirme çiftliklerinde ısıtma yükünü karşılayabilmektedir. Bu bağlamda, jeotermal kaynağın bulunduğu bölgenin sosyo-ekonomik durumu ve potansiyelleri çok yönlü ve kapsamlı bir şekilde ele alınarak planlandığında bölgesel bir kalkınma elde edilerek yerel halka farklı sektörlerde



iş bulma imkânı sağlanabilmektedir. Sonuç olarak ülkemiz açısından çok değerli bir kaynak olan jeotermalin bölgesel ve ulusal çıkarlar doğrultusunda başta insan ve çevre olmak üzere tüm etkileşimler değerlendirilerek, uzun vadeli planlamaların ilgili paydaşların da görüşleri alınarak hayata geçirilmesi önemlidir.

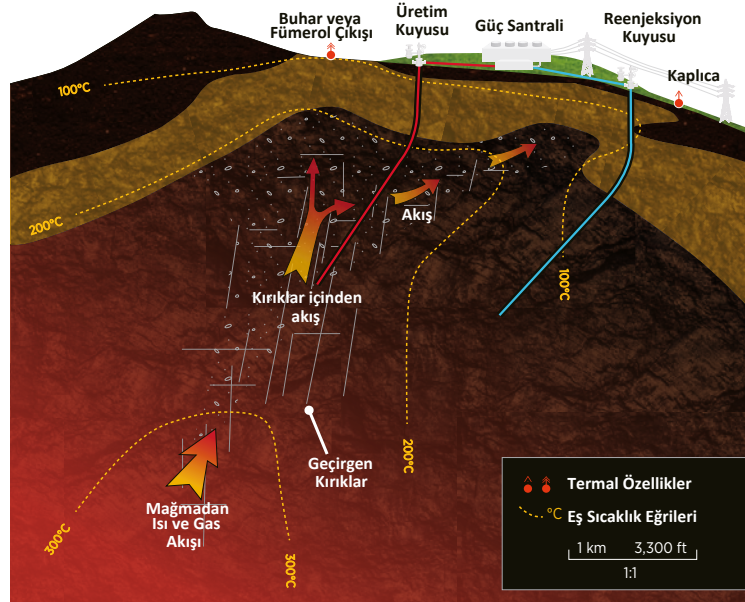


Şekil 5. Jeotermal enerjinin etkileşimde bulunduğu kavramlar

Raporda öncelikle jeotermal enerji temel düzeyde tanımlandıktan sonra dünyada ve ülkemizde bu kaynakların güncel durumu, mevcut kullanım alanları ve uygulamadaki yeni trendler ve jeotermal alanındaki teknolojik yenilikler ele alınmaktadır. Raporun devamında, ülkemizin sahip olduğu jeotermal enerji kaynaklarının belirlenmesi, kaynakların ısıtma, güç üretimi, tarım ve sağlık gibi farklı alanlarda ülke menfaatleri ve kamu yararı gözetilerek etkin kullanımına yönelik değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu bağlamda, yasal ve idari mekanizmalar, teknik işleyişteki yetersizlikler, çevresel, hukuki ve finansal değerlendirmeler ile sektörde sorun oluşturan konular ve tüm bu hususlara yönelik yenilikçi ve yapıcı çözüm önerileri kapsamlı bir şekilde ele alınmaktadır.

## 2. JEOTERMAL ENERJİ ve KULLANIM ALANLARI

Jeotermal kelimesi Yunan kökenli *jeo* (yer) ve *termal* (ısı) kelimelerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Jeotermal enerji; yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan jeolojik yapıya bağlı olarak oluşan birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığının üzerinde olan ve çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral çeşitli tuzlar ve gaz içerebilen, basınç altındaki sıcak su ve buhardan oluşan, doğrudan ya da başka enerji türlerine dönüştürülerek yararlanılabilen, bir hidro-termal küttedir (Şekil 6).

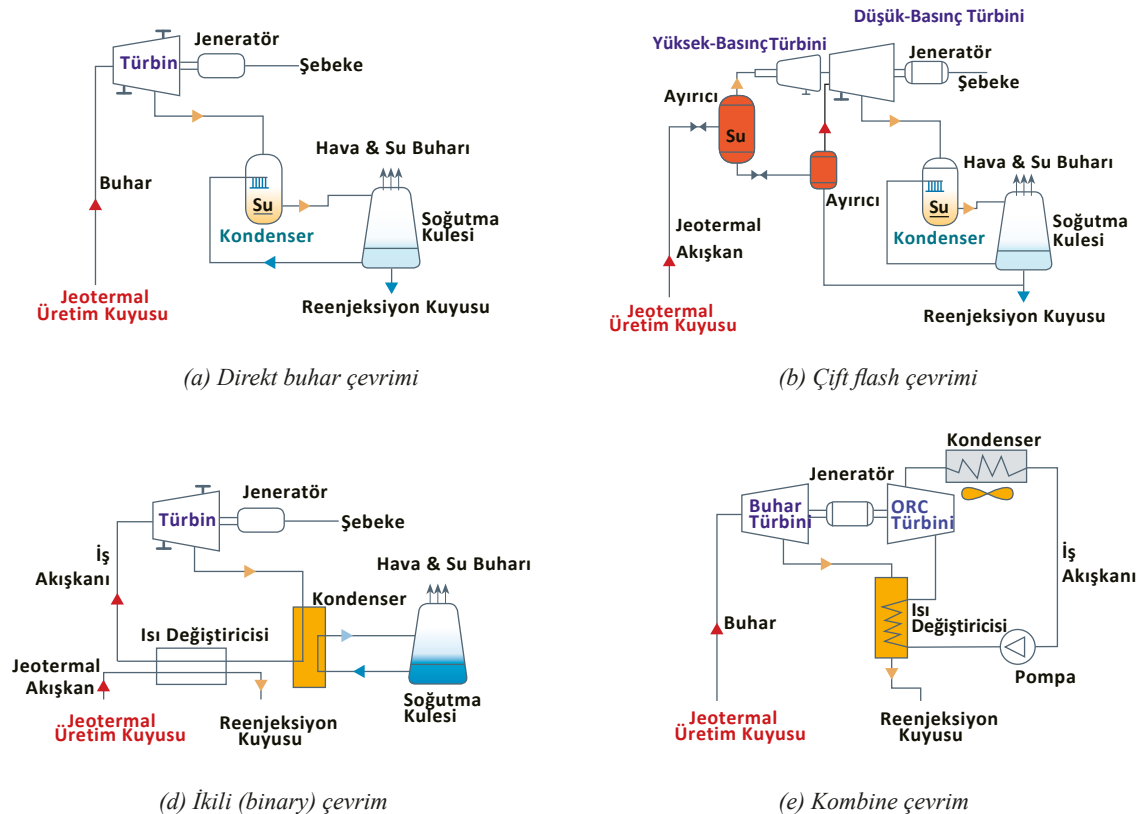


Şekil 6. Jeotermal kaynak oluşumu ve kullanımı ([12]'den uyarlanmıştır)

Dünyada tüketilen enerjinin %87'si fosil yakıtlardan elde edilmektedir [13]. Enerji alanında çalışan uzmanların tahminlerine göre petrol rezervlerinin yaklaşık 40 yıl, doğalgaz rezervlerinin ise 60 yıl ömrü kalmıştır [13]. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan ve özellikle kaliteli ve düzenli bir enerji kaynağı olmasıyla güven veren, çevre kirliliği yaratmayan, ucuz, temiz, sürdürülebilir ve yerli bir kaynak olan jeotermal enerjiyi önemli bir alternatif olarak öne çıkarmaktadır. Jeotermal enerji, dünyanın farklı bölgelerinde mevcut olup önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilen bir çeşit termal enerjidir. Bu enerji kaynağı asırlardır endüstriyel ısı ihtiyaçlarımızı karşılamada, konutların ısıtılmasında, sıcak su ihtiyaçlarımızı karşılamada ve tıbbi amaçlı tedavilerde ya da pişirme amacıyla kullanılmaktadır. Türkiye, enerji kaynakları konusunda özellikle petrol ve doğal gaz rezervleri açısından dünya ölçeğinde yoksul, jeotermal enerji açısından oldukça zengin kaynaklara sahip ülkelerden biridir. Düşük yatırım maliyeti, olumsuz çevre etkilerinin çok düşük seviyelerde olması ve yüksek potansiyeli nedeniyle "jeotermal enerji" konusu ülkemiz açısından cazip hale gelmektedir. Ülkelere ve kökenlerine göre değişik sınıflandırmalar olmasına karşılık jeotermal sahalar yaygın olarak kullanılan sıcaklık değerlerine sınıflandırılmaktadır. Ülkemiz koşullarına göre jeotermal sahalar kabaca üç gruba ayrılır [13]:

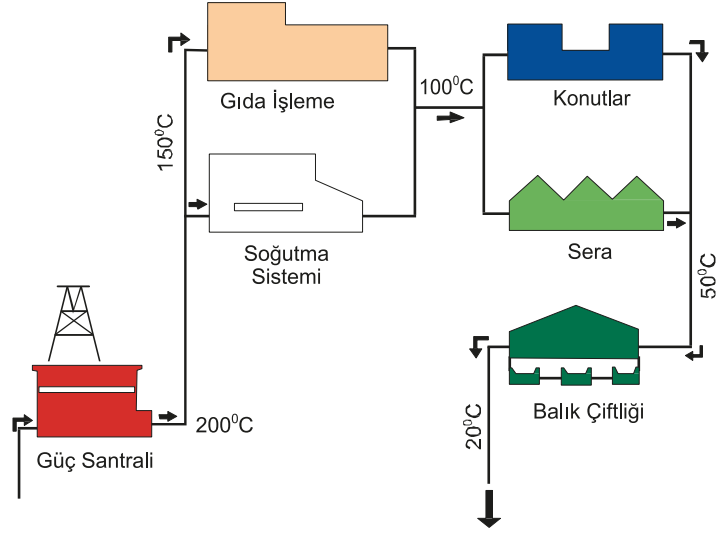
- *Düşük Entalpili Sahalar:* 20°C – 70°C
- *Orta Entalpili Sahalar:* 70°C – 150°C
- *Yüksek Entalpili Sahalar:* 150°C'den yüksek

Jeotermal kaynakların aranması, bulunması değerlendirilmesi neticesinde dünyada şu anda 15500 MWe elektrik ve 70000 MWt ısı enerjisi ve kaplıca gibi elektrik dışı kullanımlar bulunmaktadır [14]. Jeotermal enerji kaynakları yeni, yenilenebilir, çevre dostu ve özvarlıdır. Jeotermal enerji yatırımlarında kısmen dışa bağımlılık, ancak işletmede çok az dışa bağımlılık söz konusudur. İnsanlık en önce temizlenme ve ısınma amacıyla jeotermal kaynakları kullanmış, 1900'ü yılların başında pistonlu buhar makinası aracılığıyla elektrik üretmeye başlamıştır. Jeotermal akışkan yeryüzüne sıcak su, kaynar su, buhar veya gazlarla birlikte doğal olarak çıkarlar veya özel yöntemler uygulanarak çıkartılırlar. Jeotermal ısıtmada jeotermal akışkanın bünyesinde bulunan kimyasallar ve gazların meydana getirebileceği kabuklaşma (*kalsit, silis, stibnit*) ve korozyon nedeniyle ikincil akışkana ısıyı aktararak şehir, ev, sera ve sanayide değerlendirilmektedir. Bunun için taşımada özel borular (*epoksi camelyaf, poliüretan veya polietilen*), ısı değişimi için titanyum plakalı özel ısı değiştiricileri geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Elektrik üretiminin ilk uygulamalarında jeotermal akışkandan buhar ayrıştırılmış ve ayrıştırılmış olan buhar, buhar türbinine gönderilerek elektrik enerji elde edilmiştir. Türbinden çıkan düşük entalpili buhar ise direkt olarak atmosfere boşaltılmıştır. Daha sonraki uygulamalarda buharı atmosfere vermek yerine yoğuşmalı sistemler geliştirilmiştir. Tek, çift ve üç buharlaştırıcı sistemler geliştirilmiş ve jeotermal kaynaktan elde edilen toplam verim artırılmıştır. Jeotermal akışkanın içerisinde bulunan yoğuşmayan gazların (*non-condensing gases – NCG*) gaz ejektörleri ve vakum kompresörleri ile kondenserden çıkarılması için yöntemler geliştirilmiştir [14]. Buhar çevrimine *flash cycle* denilmektedir. Yaklaşık 75°C – 180°C gibi görece düşük sıcaklıklardaki jeotermal akışkan enerjisini çalışma akışkanına (*pentan, izopentan ve bütan* gibi) aktarmaktadır. Binary cycle veya Organik Rankine Cycle (ORC) teknolojilerinde çalışma akışkanı daha sonra özel türbinlerde genişlemekte ve sonrasında yoğuşturularak tekrar çevrime verilmektedir. Türkiye'deki jeotermal santrallerin %80'inde bu tip çevrimler kullanılmaktadır. Türkiye bir başarı hikayesi yazarak 2005 yılında 20 MWe kurulu güçten 2019 sonu itibarıyla 1595 MWe kurulu güce çıkmıştır [14]. Re-enjeksiyonun yapılması rezervuarda büyük ölçüde devamlılığı sağlamış, kabuklaşma ve korozyon büyük ölçüde kontrol altına alınmıştır. Şekil 7'de farklı tip jeotermal güç üretim çevrimleri şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 7. Jeotermal güç çevrimi örnekleri ([15]'ten uyarlanmıştır)

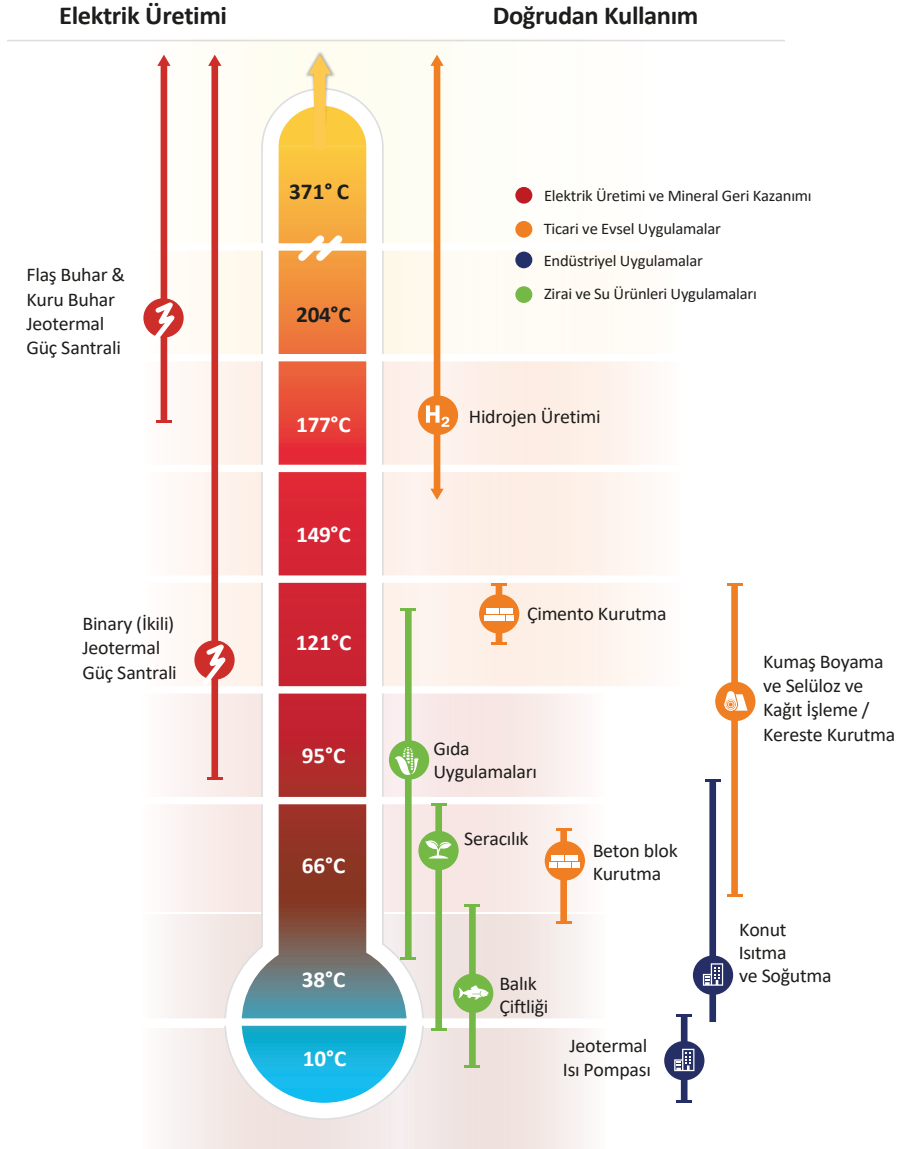
Jeotermalin entegre değerlendirilmesinde elektrik üretimi, şehir ısıtma, sera ısıtma, kaplıca maksatlı kullanım, sanayi maksatlı kullanım, kimyasal üretim (ağırlıklı olarak CO<sub>2</sub> gazı, sıvı CO<sub>2</sub>, lityum ve mangan) ile jeotermalin entegre değerlendirmesi teknik ve ekonomik olarak daha cazip hale gelmektedir. Şekil 8’de jeotermal kaynağın güç üretiminin yanı sıra, soğutma, gıda işleme, konut/sera ısıtması ve balıkçılıkta kademeli (*cascaded*) kullanımı şematik olarak gösterilmektedir. Şekil 9 ise jeotermal enerji kaynağının elektrik üretimi ve doğrudan kullanıma yönelik sektör alternatiflerini ve ihtiyaç duyulan kaynak sıcaklıklarını şematik olarak göstermektedir.



Şekil 8. Kademeli jeotermal güç çevrimi örneği ([16]’dan uyarlanmıştır)

Türkiye Jeotermal Derneği güncel verilerine göre Türkiye’de şehir ısıtmada 1033 MWt; sera ısıtması 820 MWt; kaplıca tesisleri, termal oteller gibi ticari ısıtmada 420 MWt; otel ve kaplıcalarda kullanılan termal suyun ısı enerjisi 1205 MWt; meyve–sebze kurutma 1,5 MWt; soğutma 0,3 MWt; toprak kaynaklı jeotermal ısı pompası 8,5 MWt; toplam CO<sub>2</sub> üretiminde ise 400000 ton/yıl gibi değerlere ulaşılmıştır [14]. Ülkemiz jeotermal sera ısıtmasında dünyada birinci (4500 dönüm), kurulu jeotermal elektrik üretiminde dünya dördüncüsü (1595 MWe), jeotermal şehir ısıtma gibi jeotermal enerjinin doğrudan kullanımda ise dünya dördüncüsüdür (200000 konut veya 3500 MWt) [14]. Türkiye’nin asıl büyük jeotermal ısı potansiyeli Geliştirilebilir Jeotermal Sistemlerde (*EGS – Enhanced Geothermal Systems* – eski adıyla *Kızgın Kuru Kaya, Hot Dry Rock*) bulunmaktadır. Bu teknolojinin de hızla Türkiye’de uygulanarak kaynaklarımızın etkin bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ülkemizde jeotermal enerji potansiyelinin çok yönlü kullanımıyla birlikte enerjide dışa bağımlılığımız büyük ölçüde ortadan kalkacaktır. [14]. Jeotermal enerji kullanımının ülkemiz açısından sağlayacağı avantajlar şu şekilde özetlenebilir [14]:

- Jeotermal enerji ucuzdur, temizdir ve çevre dostudur,
- Jeotermal enerji özvarlığımızdır,
- Dışa bağımlılığı yoktur,
- Döviz tasarrufu sağlamaktadır,
- Entegre kullanım imkânı vardır,
- Jeotermal enerjinin satış fiyatının belirlenmesinde uluslararası piyasalara bağılılığı yoktur.



Şekil 9. Jeotermal kaynak oluşumu ve kullanımı ([11]'den uyarlanmıştır)

Huttrer [17] tarafından 2020 Dünya Jeotermal Kongresi kapsamında hazırlanan güncel rapora göre, dünya genelinde kurulu jeotermal kaynaklı güç üretim kapasiteleri Tablo 11'de sunulmaktadır. 2020 yılı istatistiklerine göre Türkiye 4. sıradadır. Ülkemiz jeotermal alanında sahip olduğu kaynak potansiyeli ve 50 yılı aşkın bilgi birikimi ve deneyimiyle dünyada bu alanda öne çıkan ülkeler arasındadır.

Tablo 11. Dünyada jeotermal kaynaklı güç üretim kapasiteleri ([17]'den uyarlanmıştır)

Ülke	2015 yılı Kurulu Kapasite (MWe)	2015 yılı Üretimi (GWh/yıl)	2020 yılı Kurulu Kapasite (MWe)	2020 yılı Üretimi (GWh/yıl)	2020 – 2015 Yılları Değişim (MWe)	2025 Yılı Öngörüsü (MWe)
A.B.D.	3098,00	16600,00	3700,00	18366,00	602,00	4313,00
Almanya	27,00	35,00	43,00	165,00	16,00	43,00
Arjantin	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	0,00
Avustralya	1,10	0,50	0,62	1,70	-0,48	0,31
Avusturya	1,40	3,80	1,25	2,20	-0,15	2,20
Belçika	0,00	0,00	0,80	2,00	0,80	0,20
Çin	27,00	150,00	34,89	174,60	7,89	386,00
El Salvador	204,00	1442,00	204,00	1442,00	0,00	284,00
Endonezya	1340,00	9600,00	2289,00	15315,00	949,00	4362,00
Etiyopya	7,30	10,00	7,30	58,00	0,00	31,30
Filipinler	1870,00	9646,00	1918,00	9893,00	48,00	2009,00
Fransa	16,00	115,00	17,00	136,00	1,00	~25
Guatemala	52,00	237,00	52,00	237,00	0,00	95,00
Hırvatistan	0,00	0,00	16,50	76,00	16,50	24,00
Honduras	0,00	000	35,00	297,00	35,00	35,00
İtalya	916,00	5660,00	916,00	6100,00	0,00	936,00
İzlanda	665,00	5245,00	755,00	6010,00	90,00	755,00
Japonya	519,00	2687,00	550,00	2409,00	31,00	554,00
Kenya	594,00	2848,00	1193,00	9930,00	599,00	600,00
Kosta Rika	207,00	1511,00	262,00	1559,00	55,00	262,00
Macaristan	0,00	000	3,00	5,30	3,00	3,00
Meksika	1017,00	6071,00	1005,80	5375,00	-11,20	1061,00
Nikaragua	159,00	492,00	159,00	492,00	0,00	159,00
Papua Yeni Gine	50,00	432,00	11,00	97,00	-39,00	50,00
Portekiz	29,00	196,00	33,00	216,00	4,00	43,00
Rusya	82,00	441,00	82,00	441,00	0,00	96,00
Şili	0,00	0,00	48,00	400,00	48,00	81,00
Tayvan	0,10	1,00	0,30	260	0,20	162,00
Türkiye	397,00	3,127,00	1549,00	8168,00	1152,00	2600,00
Yeni Zelanda	1005,00	7000,00	1064,00	7728,00	59,00	200,00
Yakın Dönem Potansiyeller						
Dominika	0,00					7,00
Ekvator	0,00					50,00
İran	0,00					5,00

### 3. ÜLKEMİZDE JEOTERMAL KAYNAKLAR ve KULLANIM ALANLARI

Ülkemiz mevcut jeotermal enerji kaynakları ve kaynakların kullanımı itibariyle dünyanın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır. Enerji üretimi ve doğrudan kullanımında dünyada 4. sıradadır [14]. Ege bölgesi başta olmak üzere ülkemizin her yanına dağılmış toplamda 347 jeotermal alan bulunmaktadır [13]. Tespit edilen bu jeotermal kaynakların toplam enerji potansiyel 62000 MWt olarak öngörülmektedir [13]. Güncel kullanılabilir kapasite ise yaklaşık 20000 MWt'dir. Gerçek kapasitenin, kapsamlı bir stratejik araştırma çerçevesinde ortaya çıkarılması gerekmektedir. Kapasite kullanımında öne çıkan en büyük pay elektrik üretimine aittir. Merkezi ısıtma, sera ısıtması, sağlık ve termal turizm, tarımsal kullanımlar ise son yıllarda ülke genelinde yaygınlaşmaktadır. Jeotermal ısı pompası ise ısıtmada önemli avantaj sağlayan ve ülke genelinde kullanılan bir uygulamadır. Jeotermal alanlardan yan ürün olarak CO<sub>2</sub> üretilmektedir. Jeotermal sektöründe hızla büyüyen bir dönem yaşanmaktadır.

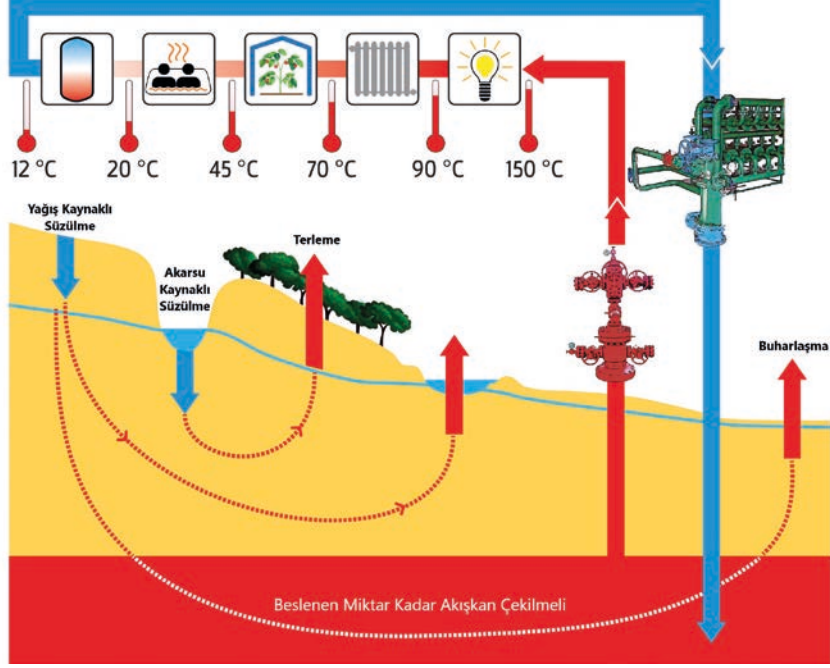
#### 3.1. MTA Genel Müdürlüğü Çalışmaları

Türkiye'de jeotermal arama çalışmaları, 1962 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmıştır. Yapılan çalışmalar 2004 yılından itibaren hızlandırılmış ve yoğun arama çalışmalarının artırılması, olumlu sonuçlar alınması ve mevzuat düzenlemeleri gibi önemli gelişmeler sayesinde jeotermal uygulamalarda önemli artışlar elde edilmiştir. Türkiye'nin Kasım 2019 itibariyle jeotermal enerji kaynaklı elektrik kurulu kapasitesi 1498 MWe olarak bilinmekte olup, jeotermal elektrik potansiyeli görünür teknik kapasitesi 2000 MWe olarak öngörülmektedir [18]. Sahaların ilave geliştirme çalışmaları, yeni sahaların keşfi ve konvansiyonel olmayan jeotermal aramacılığın da başlaması ile bu rakamın daha da artacağı öngörülmektedir. Ülkemizde jeotermal enerjiden başlıca 19 yerleşim birimimizde merkezi konut ısıtması, 23 sahada seracılık ve yaklaşık 350 adet termal tesiste tedavi ve termal turizm amaçlı yararlanılmaktadır [18].

Bilindiği üzere ülkemiz, Asya ve Avrupa arasında önemli bir jeolojik konuma sahip olup tektonik olarak aktif olan Alp-Himalaya Dağ Oluşum Kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bundan dolayı jeolojik olarak genç ve diri faylar ile volkanik ve mağmatik oluşumlar içermektedir. Bu yapılar ise Türkiye'de zengin jeotermal potansiyelin oluşumuna neden olmaktadır.

Ülkemizde jeotermal enerji çalışmaları 2007 yılına kadar Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Devlet Planlama Teşkilatı tarafından onaylanan yatırım programları ve yıllık iş programları, 3154 sayılı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Kuruluş Kanunu başta olmak üzere 927, 6309 ve 5177 sayılı Kanunla değişik 3213 sayılı Maden Kanunu ve Anayasamızın 168. maddesinin vermiş olduğu yetkiye dayanarak Devletimizi temsilen yapılmaktaydı. Ancak, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin giderek artması sonucu, jeotermal enerjinin başta elektrik üretimi olmak üzere diğer doğrudan ve dolaylı uygulamalarının kullanımının gündeme gelmesi söz konusu olmuştur. Jeotermal alanında çok yönlü meydana gelen gelişmelerin sonucu olarak jeotermal enerji üzerine bir kanun çıkartılması zorunluluk haline gelmiş ve 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu 13/06/2007 tarihinde 26551 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bunu takip eden süreçte Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği 11/12/2007 tarih ve 26727 sayılı Resmi Gazete de yayımlanmıştır. Yasal düzenlemelerin yanı sıra, 2005 yılından sonra MTA Genel Müdürlüğü'nün arama çalışmalarını genişletmesi ve arama faaliyetlerinden olumlu sonuçlar alınması, Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun (YEK) da yürürlüğe girmesiyle sağlanan teşvikler ve MTA tarafından keşfedilen ve ön çalışmaları tamamlanan jeotermal sahaların yatırımcıya ihale yolu ile devri gibi önemli gelişmeler sayesinde, jeotermal uygulamalarda önemli artışlar olmuştur. Özellikle özel sektörün de jeotermal kaynak arama ve işletme faaliyetlerine başlaması ile 2019 yılı itibariyle

ülkemiz, jeotermal enerjiden elektrik üretiminde dünya dördüncüsü ve Avrupa birincisi, jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı uygulamaları göz önüne alındığında ise dünya altıncısı ve Avrupa dördüncüsü konumuna yükselmiştir. Ülkemizde jeotermal enerji, elektrik üretimi, konut ve sera ısıtması, termal turizm, balık yetiştiriciliği, kuru buz eldesi, endüstriyel ve tarım ürünlerinin kurutulması (yün kurutma, meyve kurutma vb.), ısı pompası vb. uygulamalarda kullanılmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Klasik bir jeotermal sistemin oluşumu ve bazı uygulamaları ([19]'dam uyarlanmıştır)

MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalara göre 2018 yılına kadar ülkemizin jeotermal ısı potansiyelinin 31500 MWt olduğu tahmin edilmekteydi (Şekil 11). Bu tahmini potansiyel değer uzun süre ülkemizin önemli bir jeotermal enerji potansiyeli içerdiği ve söz konusu potansiyelden dolayı çok daha fazla jeotermal enerjiye ulaşılabileceği öngörüsü ile kullanılmaktaydı. Yukarıda da değinildiği üzere, özellikle 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve Uygulama Yönetmeliği'nin yayımlanması, yatırım teşvikleri ve MTA tarafından başlatılan jeotermal enerji arama ve araştırma seferberliği sayesinde, 2008'den itibaren MTA öncülüğünde özel sektörün de jeotermal kaynak arama, araştırma ve yatırım yapması ile 2018 yılında, MTA Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre 35400 MWt jeotermal ısı potansiyeli görünür hale getirilmiş ve 31500 MWt olarak öngörülen jeotermal ısı potansiyeli aşılmıştır [18].



### Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası



Şekil 11. Türkiye jeotermal kaynak sıcaklık dağılımı [18]

Tüm bu arama ve araştırma çalışmalarının sonucu olarak MTA kayıtlarına göre 2018 yılı sonu itibari ile ülkemizde 19 yerleşim birimimizde merkezi konut ısıtması (125820 konut eşdeğeri, 1132 MWt), 23 sahada seracılık (4052 dönüm, 794 MWt) ve 350 adet termal tesiste tedavi ve termal turizm amaçlı yararlanılmaktadır. Elektrik üretiminde ise, 2002 yılında 15 MWe elektrik üretimi söz konusu iken, 2019 yılı Kasım sonu itibarı ile MTA kayıtlarına göre, jeotermal kaynaktan 1498 MWe elektrik üretimi elde edilmektedir. Buna göre 17 yıl içerisinde 100 kata varan bir artış olmuştur [18].

#### 3.1.2. MTA Genel Müdürlüğü Jeotermal Kaynak Arama Çalışmaları

Bilindiği üzere, Türkiye jeolojik yapısı gereği jeotermal kaynaklar bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemizde 1962 yılında başlatılan jeotermal araştırma çalışmaları 2004 yılından itibaren hızlandırılmış ve arama çalışmalarının artırılması ve olumlu sonuçlar alınması, mevzuat düzenlemeleri gibi önemli gelişmeler sayesinde jeotermal uygulamalarda önemli artışlar olmuştur. MTA Genel Müdürlüğü'nce jeotermal kaynak aramaya yönelik çalışmalar özellikle 2004 yılından itibaren hızlandırılmış ve sondajlı jeotermal enerji aramaları yıllık 2000 metrelere 28000 metrelere çıkarılmıştır. MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen sondajlı aramalarla 10 adedi elektrik üretimine uygun [Aydın-Sultanhisar (146°C), Aydın-Bozköy-Çamur (146°C), Aydın-Atça (124°C), Aydın-Umurlu (150°C), Aydın-Nazilli-Bozyurt (127°C), Aydın-Pamukören (188°C), Kütahya-Şaphane (181°C), Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere (287°C), Aydın-Buharkent (147°C), Nevşehir-Güre (183°C)] değerleri ise ısıtma ve termal turizme uygun olmak üzere çok sayıda yeni saha belirlenmiştir. Bu sayede 173 adet olan keşfedilmiş jeotermal saha sayısı toplamda 239 sahaya çıkarılmıştır. Bugüne kadar 636 adet, 416293 metre sondajlı arama çalışması yapılarak, doğal çıkışlar dâhil, açılan kuyularla yaklaşık 5000 MWt ısı enerjisi elde edilmiştir. MTA'nın sondaj ve arama faaliyetlerinden görüntüler Şekil 12'de sunulmaktadır.

5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve Uygulama Yönetmeliği hükümleri gereği, MTA Genel Müdürlüğü tarafından jeotermal kaynak varlığı ortaya çıkarılmış, sahalarda yapılan ihaleler sonucunda, başlangıcından günümüze kadar 16 adedi elektrik üretimine uygun toplam 101 adet jeotermal saha (toplam 149 adet ruhsat) yatırımcıya devredilerek ülke ekonomisine yaklaşık 546 milyon Amerikan Doları kazandırılmış ve bu bedelin yaklaşık 260 milyon TL'si İl Özel İdarelerine aktarılmıştır. Bütün bu çalışmalara paralel olarak jeotermal uygulamalarda büyük bir artış sağlanmıştır.



*Şekil 12. MTA Genel Müdürlüğü jeotermal kaynak arama sondaj çalışmalarından görüntüler [18]*

### **3.2. Ülkemizde Jeotermal Kaynak Durumu**

Jeotermal kaynakların araştırılması ve kullanımı uzun yıllardır kamu kurumları, belediyeler ve özel sektör tarafından yapılan eş güdümlü çalışmalar ile yürütülmektedir. Ülkemizde jeotermal sektörün genel durumu Tablo 12’de özetlenmektedir. Sıcaklığı 30°C üzerinde 347 jeotermal saha bulunurken, alt sınır olarak 20°C alındığında toplamda 600 jeotermal kaynak grubu yer almaktadır [13]. Bu alanlardan 44 tanesi yüksek entalpiye sahip olup elektrik üretimi amacıyla kullanılabilir potansiyele sahiptir. Elektrik üretimi yapılabilecek sahaların jeotermal alanlar içerisindeki oranı %12’dir. %88 paya sahip düşük ve orta entalpili alanlar ise başta konut ve bölgesel ısıtma olmak üzere, sera ısıtması, sağlık ve termal turizm sektörlerinde değerlendirilmektedir.

Tablo 12. Türkiye'nin jeotermal kaynak tablosu ([13, 14]'ten derlenmiştir)

Jeotermal Saha	Saha sayısı	Sıcaklığı ( $\geq 30^{\circ}\text{C}$ )				347	
Doğal çıkış	Kaynak sayısı					600	
Alan dağılımı	Yüksek / Düşük ve orta entalpili alanlar	44 / 303				%12 / %88	
	Elektrik üretimi	44				%12	
	Isıtma / Termal kullanım	153/135				%43 / %45	
Potansiyel	Tahmini teorik potansiyel (MWt)					52700 – 62000	
	Kullanılabilir potansiyel (MWt)					20000	
Kuyu	Tahmini kuyu sayısı					>2500	
Değerlendirme	Doğrudan kullanım	Saha	Yerleşim	Kurulu Güç (MW)	Miktar		
	Merkezi ısıtma	154	18	1223	137650	Konut Eşdeğeri	
	Termal kullanım	135		1205	450	Adet	
	Sera ısıtması	154		834	4350	Dönüm	
	Termal tesis otel ısıtması	154		420	46400	Konut Eşdeğeri	
	Jeotermal ısı pompası			7,6	845	Konut Eşdeğeri	
	Tarımsal kurutma	154	3	1,5	-		
	Soğutma	1	1	0,35	-		
	TOPLAM				3487	184550	Konut Eşdeğeri
	Elektrik Üretimi	Saha	Uygulama	Santral	Kurulu Güç (MW)	Üretim (MW)	
		44	20	64	1672	1557,71	
	Sıvı CO <sub>2</sub> Üretimi					Kapasite(ton/yıl)	240000
Toplam CO <sub>2</sub> Üretimi					Kapasite(ton/yıl)	400000	

Henüz tüm sahaları kapsayan çok yönlü arama–araştırma–geliştirme çalışmaları yapılmadığı için ülkemizdeki toplam jeotermal enerji kapasitesi tam olarak bilinmemektedir. Dolayısıyla Tablo 12’de sunulan değerlendirme ülkemizin sahip olduğu gerçek kapasiteyi tam olarak yansıtmamaktadır. Kaynaktan beklentileri gerçekleştirme ve gelecekte ülkenin sahip olduğu termal kapasiteye ulaşılması için arama, araştırma ve geliştirme çalışmalarının sistematik olarak yürütülmesi gerekmektedir. Diğer yer altı kaynaklarından farklı olarak dinamik bir yapıya sahip olan jeotermal kaynakların aranmasından işletilmesine kadar geçen süreçlerin doğru tanımlanması, enerji kaynak sahasının korunması, geliştirilmesi ve sürdürülebilir üretimin sağlanması da özel olarak üzerinde durulması gereken önemli hususlardır. Bu anlayış doğrultusunda, potansiyelin tam anlamıyla hayata geçmesi, ülkemizin jeolojik zenginliği ve önemli bir kaynağı olan jeotermal enerjiden en üst düzeyde faydayı elde edebilmek için, belirlenecek bir strateji çerçevesinde, mevcut sahaların geliştirilmesi ve yeni kaynakların bulunması, en ekonomik ve ülke menfaatlerine uygun bir şekilde değerlendirilmesine yönelik geniş perspektifli projelerle kapasitenin gerçek değerine ulaştırılması stratejik önemdedir.

Ülkemiz, sıcaklığı  $30^{\circ}\text{C}$  üzerinde olan jeotermal kaynak zenginliği bakımından dünyada yedinci sıradadır. Sıcaklık alt sınırı  $20^{\circ}\text{C}$  olarak belirlendiğinde ise sahip olduğumuz toplamda 600 kaynak grubuyla Avrupa’da birinci sırada yer almaktadır [20]. Jeodinamiği gereğince farklı sistemlerde oluşmuş, tektonik unsurlarla uyumlu biçimde ülkemiz geneline dağılmış 347 adet jeotermal alan bulunmaktadır. Batı Anadolu’da yüksek sıcaklıklı, potansiyeli ve enerji kapasitesi yüksek alanlar, diğer bölgelerde düşük / orta sıcaklık kategorisindeki alanlar yer almaktadır. Şekil 13’te ülkemizin farklı bölgelerindeki sıcak su kaynaklarına ve fümerol çıkışlarına ait görseller sunulmaktadır.



(a) Çanakkale – Tuzla sıcak su kaynağı  
(101,1°C)



(b) Kütahya – Hisarcık sıcak su kaynağı  
(44°C)



(c) Denizli – Kızıldere sahası fümerol çıkışı

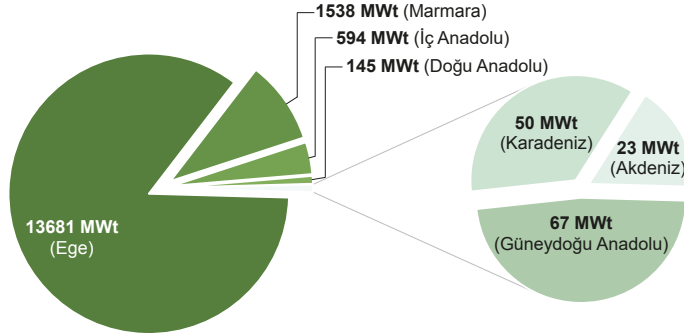
Şekil 13. Farklı jeotermal alanlardan görüntüler [20]

Şekil 14’te ülke genelinde jeotermal kaynak dağılımı gösterilmektedir. Alan dağılımında ısıtma ve termal uygulamalar için kullanılan düşük ve orta sıcaklıklı kaynaklar %88’lik oranla en büyük paya sahiptir. Bu kaynaklar harita üzerinde mavi ve yeşil daireler ile gösterilmektedir. Elektrik üretimi için uygun yüksek entalpili alanlar ise harita üzerinde kırmızı daire ile gösterilmektedir. Harita üzerinde ayrıca jeotermal elektrik santralleri, elektrik üretimine uygun potansiyel jeotermal alanlar ve jeotermal ısıtma yapılan merkezler özel semboller ile belirtilmiştir [20]. Yüksek sıcaklığa sahip jeotermal alanlar yoğun olarak Batı Anadolu’da yer almaktadır. Bölge illerinde farklı tipte jeotermal uygulamalar yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ülkemizin orta ve doğu bölgelerinde ise nispeten düşük ve orta sıcaklık aralığına sahip jeotermal alanlar tespit edilmiştir. Marmara, Karadeniz, Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgelerinde ise farklı özelliklerde jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Kaynakların özellikleri ve sahip oldukları potansiyeller yerel jeolojik kuşaklara bağlı olarak farklılık göstermektedir [20]. Ülkemizin farklı bölgelerinde tespit edilen jeotermal kuyuların sahip olduğu potansiyeller Şekil 15’te sunulmaktadır.

TÜRKİYE JEOTERMAL KAYNAKLAR DAĞILIMI VE UYGULAMA HARİTASI



(Hazırlayanlar: İbrahim Akkuş, Hafize Akıllı, Selda Ceyhan, Nimet Özçelik)  
Şekil 14. Türkiye jeotermal kaynaklar dağılımı ve uygulama haritası [20]



Şekil 15. Ülkemizdeki bölgelerin jeotermal kaynaklar potansiyelleri ([20]'den uyarlanmıştır)

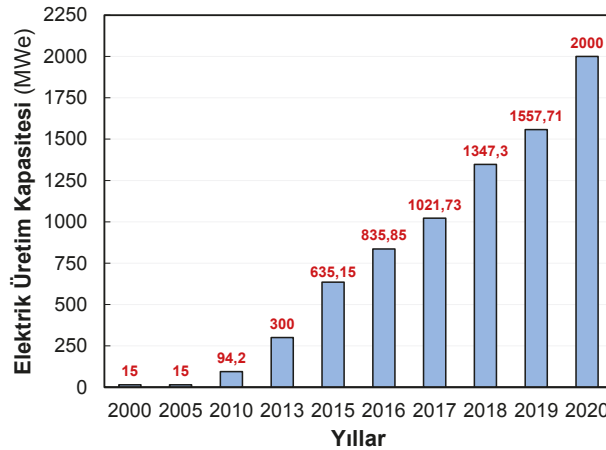
Ülkemiz jeotermal kaynak potansiyeli açısından dünyanın sayılı ülkelerinden biridir. Sahip olduğu potansiyel ve kullanımda ulaşılan durum itibariyle dünya ülkeleri içerisinde ilk sıralardadır. Kullanılabilir potansiyel yaklaşık 20000 MWt'dir. Üretim bilgileri resmi kayıtlara girmeyen kuyular nedeniyle, günümüzdeki toplam kapasite net olarak bilinmemektedir. Araştırmacılar, toplam potansiyelin 62000 MWt düzeyine ulaşabileceğini tahmin etmektedirler [20]. Elektrik üretim kapasitesi ise 2000 MWe olarak öngörülmektedir [20]. Tablo 13'te elektrik üretimine uygun potansiyel sahalar ve bunlara ait sıcaklık değerleri listelenmektedir [20].

Tablo 13. Türkiye’de elektrik üretimine uygun potansiyel jeotermal sahalara ([20]’den uyarlanmıştır)

Saha Adı		Sıcaklık (°C)	Saha Adı		Sıcaklık (°C)
Niğde	Çiftlik – Bozköy	295		Germencik – Ömerbeyli(*)	239
Manisa	Alaşehir – Köseali(*)	287	Aydın	Yılmazköy(*)	192
	Salihli – Caferbey(*)	260		Pamukören(*)	188
	Alaşehir – Kurudere – Alkan(*)	214		Gümüşköy(*)	181
	Alaşehir – Kavaklıdere	188		Köşk – Salavatlı(*)	171
	Salihli – Göbekli	182		Umurlu(*)	155
	Alaşehir – Kemalîye(*)	170		Merkez – Kalfaköy	151
	Sarıgöl – Alemşahlı(*)	125		Hıdırbeyli(*)	146
	Salihli – Kurşunlu	117		Sultanhisar(*)	145
Denizli	Kızıldere(*)	242	Bozyurt	140	
	Sarayköy - Tekkeköy(*)	168	Nazilli – Güzelköy	127	
	Bölmekaya	147	Atça	124	
	Buharkent	144	Kuyucak – Yöre(*)	160	
	Karataş	137	Kütahya	Şaphane	181
	Sarayköy – Gerali	125	Simav	162	
İzmir	Sarayköy – Tosunlar(*)	103	Çanakkale	Tuzla	174
	Seferihisar – Cumalı	153	Babadere	126	
	Dikili – Hanımınçiftliği	145	Nevşehir	Merkez – Göre	183
	Balçova	145	Merkez – Kepez	124	
	Seferihisar – Akyar	141	Derinkuyu – Suvermez	117	
Balıkesir	Dikili – Kaynarca	130	Afyon	Ömer - Gecek(*)	125
	Sındırgı – Hisaralan	116			

(\*) İşletmede olan sahalara

Son yıllarda kaynakların çeşitlendirilmesi yaklaşımı, jeotermal enerji yatırımlarını artırmıştır. En büyük gelişme, elektrik üretiminde görülmektedir. Türkiye, uzun yıllar 15 MWe düzeyinde sabit kalan elektrik üretim kapasitesini geliştirerek dünyada en hızlı büyüyen ülke olmuştur (Şekil 16). Jeotermal kaynaklı elektrik üretimi, 2018 yılı hedefi olan 750 MWe’ı aşarak 1347,3 MWe’a ulaşmıştır. 2020 yılı Ocak ayı itibarıyla, 20 sahada işletmede olan 64 adet jeotermal santralde 1557,71 MWe işletme kapasitesiyle dünya dördüncüsü konumundadır. Kurulumu süren santraller tamamlandığında ise 2000 MWe üretim yapılabilecek potansiyele ulaşılacaktır.



Şekil 16. Elektrik üretiminin yıllara göre gelişimi ([20]’den uyarlanmıştır)

Kaynağın tüketiminde kapasite olarak elektrik üretimi, ısıtma uygulaması ve termal kullanım yoğunluktur. Doğrudan kullanımda merkezi ısıtma sistemleri 1453 MWt kapasiteyle en büyük paya sahiptir (Tablo 14). 2019 yılı Aralık ayı itibarıyla 3487 MWt doğrudan kullanım kapasitesiyle ülkemiz dünya ülkeleri arasında dördüncü sıradadır.

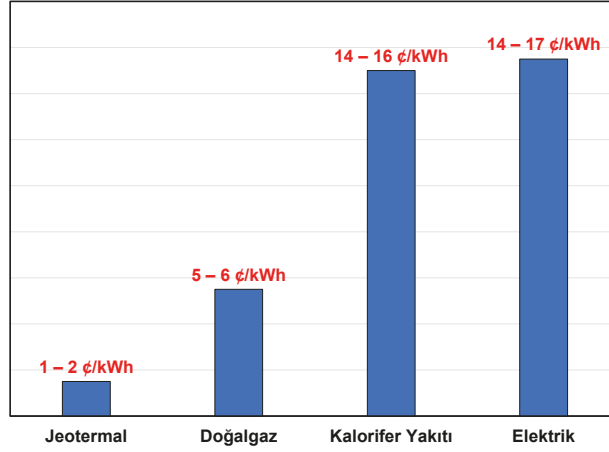
Tablo 14. Jeotermal kaynağın değerlendirilmesi ([20]'den uyarlanmıştır)

Jeotermal Kaynakların Değerlendirilmesi		
Elektrik üretimi	1557,71	MWe
Merkezi ısıtma (Şehir, Konut)	137650(*)	Konut Eşdeğeri (1223 MWt)
Kaplıca, termal oteller, devre mülk ısıtılması	46400(**)	Konut Eşdeğeri (420 MWt)
Sera ısıtması	4350	Dönüm (820 MWt)
Jeotermal ısı pompası	7,6(**)	MWt
Tarımsal kurutma	1,5(**)	MWt
Soğutma	0,35	MWt
<b>Toplam jeotermal ısı kullanımı</b>	<b>3487,1</b>	<b>MWt</b>
Kaplıca, termal tesis ve spada balneolojik kullanım	450(**)	Adet (1205 MWt)
Karbondioksit üretimi	400000(**)	Ton/Yıl

**Kaynak:** (\*) Enerji Kentleri Birliği, (\*\*) Türkiye Jeotermal Derneği

Sahaların jeolojik, coğrafi, iklim koşulları, ulaşım ve pazar durumu, önemli bir potansiyel varlığına işaret eden sıcak su kaynakları ve kuyulardaki üretim değerleri, elektrik üretiminin yanı sıra “merkezi ısıtma”, “modern termal tesisler ile kaplıcalarda kullanım”, “jeotermal sera ısıtması” ve “kültür balıkçılığı” gibi geniş bir yelpazede çok çeşitli ve entegre kullanım seçeneği sunmaktadır. Sıcaklığı 103°C – 295°C arasında değişen ve elektrik üretimi yapılabilecek 44 adet potansiyel alan vardır [20]. Çanakkale, Nevşehir ve Niğde dışındaki kaynak alanlarının tamamı Batı Anadolu’da konumlanmıştır. Yerleşimlerin merkezi ısıtılması için 50°C alt sıcaklık değerine göre ısıtmada yararlanılabilecek 110 adet, enerji üretilebilecek sahalardaki entegre kullanım ile birlikte toplam 154 adet potansiyel saha bulunmaktadır. Isıtma uygulaması için potansiyel alanlardan aynı zamanda jeotermal seracılıkta da yararlanılabilir ve üretim tüm yıla yayılarak sera işletmesi yapılabilir. Öte yandan enerji verimliliği, arz güvenliği, jeotermal enerji kullanılmasıyla üretilecek ürünlerin maliyetlerini düşürerek rekabet şansını arttıracak olması fırsatlar yaratmakta ve sahalara artı değer katmaktadır.

Jeotermal kaynaklı ısıtma, sağlık, termal turizm ve tarımsal kullanımlar gibi uygulamalar yaygınlaşmakta ve ekonomiye anlamlı düzeyde katkı sağlanmaktadır. Merkezi ısıtma, 1453 MWt kapasiteyle (%44) özel bir yere sahiptir. Afyon şehir ısıtması ekonomik örneklerinden biridir. Jeotermal akışkan kullanılarak 17 yerleşim biriminde jeotermal kaynaklı ısıtma yapılmaktadır. Tablo 15 ve Tablo 16’da sırasıyla Türkiye Jeotermal Derneği [14] ve TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası [13] verilerine göre ülkemizde jeotermal enerji kaynaklı merkezi ısıtma yapan yerler listelenmiştir. Şekil 17’de farklı tip ısıtma alternatifleriyle jeotermal kaynaklı ısıtma uygulamalarının birim ısıtma maliyetleri karşılaştırılmalı olarak sunulmaktadır. Ülke geneline yayılmış ısıtmaya uygun potansiyel alanlardan etkin şekilde yararlanılması durumunda ekonomik ve çevresel avantajların elde edilebileceği açıktır. Jeotermal ısıtma alternatifinin ekonomik olması nedeniyle sistemin kaynağa yakın kurulması koşuluyla ısıtma amacıyla kullanım durumunda enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, döviz tasarrufu ve hava kirliliğini önleme gibi hususlarda katkılar sağlanacaktır. Özellikle jeotermal kaynaklı bölgesel ısıtmanın yanı sıra soğutma uygulamalarının da hayata geçirilmesiyle bu kaynakların yıl boyu çok daha etkin kullanımı sağlanabilecektir.



Şekil 17. Türkiye’de alternatif ısıtma uygulamaları için ısı satış bedelleri [14]

Tablo 15. Türkiye’de jeotermal merkezi ısıtma yapılan yerler ([14]’ten uyarlanmıştır)

Alan Adı	Jeotermal ile ısıtılan konut sayısı 100 m <sup>2</sup> Konut Eşdeğeri	İşletmeye alma yılı	Jeotermal su sıcaklığı (°C)	Kapasite (MWt)	Jeotermal saha ile şehir arasındaki mesafe (km)	Yatırımcı/Şirket
Balçova + Narlıdere	38000	1983-1996	140	243	3	Valilik ve Belediye eşit ortaklık A.Ş.
Gönen	3400	1987	80	19	2	Ağırıklı Belediye A.Ş.
Simav	14500	1991	125	110	5	Belediye
Kırşehir	1900	1994	57	20	1	Valilik (Ağırıklı) + Belediye A.Ş.
Kızılcahamam	2500	1995	70	28	2	Ağırıklı Belediye A.Ş.
Afyon	30000	1996	95	127,5	15	Valilik (Ağırıklı) + Belediye A.Ş.
Kozaklı	3000	1996	90	34	2	Ağırıklı Belediye A.Ş.
Sandıklı	11000	1998	75	119	10	Ağırıklı Belediye A.Ş.
Diyadin	570	1999	70	62	5	Ağırıklı Valilik A.Ş.
Salihli	7500	2002	94	57	6	Belediye
Sarayköy	2500	2002	95	19	10	Ağırıklı Belediye A.Ş. Yatırımcı ve İşletmeci Özel Sektör A.Ş.
Edremit	5500	2003	60	39	4	Belediye+ Özel Sektör A.Ş.
Bigadiç	1500	2005	96	7	18	Belediye
Dikili	2000	2009	125	19	10	Belediye A.Ş.
Bergama	450	2009	70	3	8	Belediye A.Ş.
Sorgun	1500	2008	80	19	2	Belediye
Sındırgı	300/3000	2014	98	24	12	Belediye + Özel Sektör A.Ş.



Tablo 16. Türkiye'de jeotermal merkezi ısıtma yapılan yerler ([14]’ten uyarlanmıştır)

Alan Adı	Sıcaklık (°C)	Konut Eşdeğeri	Alan Adı	Sıcaklık (°C)	Konut Eşdeğeri
Balıkesir-Gönen	80	3400	İzmir-Dikili	125	1500
Kütahya-Simav	120	17495	Nevşehir-Kozaklı	92	3000
Ankara-Kızılcahamam	80	2100	Ağrı-Diyadin	70	570
İzmir-Balçova-Narlidere	98 – 125	37500	Manisa-Salihli	94	9000
Afyon-Sandıklı	70	17226	Denizli-Sarayköy	140	5000
Kırşehir-Terme	57	1800	Balıkesir-Edremit	60	5500
Afyon-Ömer-Gecek	95	25610	Balıkesir-Bigadiç	96	1500
Balıkesir-Güre	65	1400	Yozgat-Sorgun	80	2100
Sındırgı	98	2500	İzmir-Bergama	65	450
<b>TOPLAM</b>					<b>137650</b>

Ülkemizdeki jeotermal kaynaklar yüksek ısı kapasitesinin yanı sıra sahip oldukları fiziksel, kimyasal ve şifa özellikleriyle de üstün nitelikli termal sulara sahiptir. Potansiyel öngörüsü ve geliştirilebilirliği, doğası, ulaşım olanakları ve müşteri potansiyeli de göz önünde bulundurularak jeotermal sahalar aynı zamanda birer termal turizm bölgesi haline de getirilebilir ve nitelikli sağlık turizmi yapılabilir. Bu bağlamda 40°C ve üzerindeki sahalar, klasik kaplıca uygulaması yerine yüksek hizmet standartlarındaki tesislere dönüştürülerek hem yerli hem de yabancı turistlere hizmet verebilecek kullanım olanakları sunmaktadır. Düşük sıcaklıklı alanlarda ise sıcak sulara yetişen türlere yönelik kültür balıkçılığı uygulamaları ile ekonomik yatırım geliştirilebilir. Düşük sıcaklıklı jeotermal kaynağın sera ısıtmasında kullanılabilir olduğu göz önüne alındığında seracılık için de ekonomik olarak önemli bir avantaj sağlamaktadır. Nitekim jeotermal enerjinin en çok kullanıldığı yerlerden biri de seralardır. Tarımsal amaçlı kullanımda seracılık ön sırada yer almaktadır. Diyardin ve Çaldıran’da -40°C ila -46°C dış ortam sıcaklığında jeotermal sera uygulanması dikkate değerdir [20]. Sera ısıtmasındaki toplam kapasite 4350 dönüm olup sürekli olarak yıllar içerisinde jeotermal entegreli yeni sera alanları kurulmaktadır (Tablo 17).

Tablo 17. Sera ısıtması yapılan alanlar ([13]’ten uyarlanmıştır)

Alan Adı	Sera alanı (da)	Alan Adı	Sera alanı (da)
Afyon-Merkez, Sandıklı, Heybeli	1310	Yozgat-Sorgun	81
İzmir-Balçova, Dikili, Bergama	819	Nevşehir-Kozaklı	60
Manisa-Salihli, Urganlı	756	Aksaray	60
Denizli-Kızıldere, Tosunlar	474	Ağrı-Diyadin	39
Şanlıurfa-Karaali	421	Uşak-Banaz	35
Kütahya-Simav	293	Van	32
Aydın-Germencik	153	Ankara	30
Adıyaman	112(*)	Sakarya	6
Eskişehir-Mahmudiye, Şerefiye	96	Diğer	71
Kırşehir	92		
<b>TOPLAM</b>			<b>4350</b>

(\*) Petrol kutusundaki sıcak su artırılarak kullanılmaktadır.

Balneolojik amaçlı bazı termal tesislerde beş yıldızlı otel kalitesinde hizmet verilmektedir. Bu kullanımlarda 450 kaplıca ve termal tesisin kullanım kapasitesi toplamda 1205 MWt'dir. Tarımsal kurutmada ise kapasite henüz 1,5 MWt'dir. Jeotermal ısı pompası ise gelişme gösteren bir uygulamadır. Ülkemizdeki jeotermal ısı pompası kapasitesi 7,6 MWt düzeyindedir. Türkiye bu haliyle dünya ülkeleri arasında kaynağın doğrudan kullanımında 4. sıradadır. Yan ürün olarak sıvı CO<sub>2</sub> üretimi ise yılda 240000 tondur.

Ülkemizde kaynak kullanımının çeşitlendirilmesi yaklaşımı son yıllarda yenilenebilir kaynaklarda olumlu sonuçlar vermiştir. Bu bağlamda jeotermal kaynaklara olan ilgi, yapılan araştırma, teknik çalışmalar ve yatırımlar hızla artmış ve kullanımlar çeşitlenerek yaygınlaşmıştır. Enerji üretiminde hızla büyüyen, yeni enerji santrallerinin devreye sokulduğu, konut-sera ısıtması ve termal kullanımlarda önemli yatırımların gerçekleştirildiği bir dönem yaşanmaktadır. Ancak bu dönem ne yazık ki sorunsuz bir süreci ifade etmemektedir. Sorunları çözme durumundaki otoritenin çözüme yönelik geliştirdiği önlemler ise karşılaşılan sorunlara yönelik sıkça yapılan yönetmelik değişiklikleriyle sınırlıdır. Çoğu kez bilimsel ve teknik dayanaktan yoksun düzenlemeleri de içeren bu palyatif yaklaşım ne yazık ki çözüm olmaktan uzaktır. Esasen kaynaklara ilişkin karşılaşılan olumsuzlukların temel nedeni kaynağın uzun bir süre yasal zeminden yoksun olması, birikmiş ve çeşitlenmiş sorunların günümüze taşınmasıdır [20]. Akkuş [13] sektörde yaşanan başlıca sorunları şu şekilde sıralamıştır:

- Arama dönemindeki riskler,
- Ruhsat hukuku, yasal, idari ve teknik sorunlar,
- Denetim yetersizliği,
- İdari yapılanmadaki dağınıklık, çok başlı mekanizma, eşgüdüm eksikliği,
- Sürdürülebilirlik riski,
- Etkin ve verimli yararlanmada yetersizlik,
- Ruhsat sayısı ve ruhsat pazarının oluşması,
- Yatırımcı güveninin sarsılması.

Akkuş [13] bu sorunların yaşanmasına temel olan etkenleri ise şu şekilde belirtmiştir:

- Sektörün uzun süre kaynağa özgü yasadan yoksun olması,
- Sorunların günümüze taşınması,
- Mevcut yasanın yetersizliği,
- Yasada kaynağın dinamik özelliğinin gözetilmemesi,
- Mevzuat karmaşası,
- Ulusal stratejinin olmaması,
- İdari yapılanma eksikliği ve sürecin merkezi yönetilmemesi,
- Arama metodolojisi.

Kuşkusuz Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu, kaynaklara ilişkin süreçlerin yönetilmesindeki yasal boşluğu dolduran önemli bir adım olmuştur. Bu kanunun yürürlüğe girmesinden sonra sektörde hızlı bir gelişme süreci başlamış ve jeotermal farklı uygulama alanlarında olumlu gelişmeler yaşanmıştır. Ancak, bu kanunun uzunca bir süre yasal zeminden yoksun kalan jeotermal sektörünün birikmiş ve çeşitlenmiş sorunlarını çözmekte yetersiz kaldığı da bir gerçektir. Hem yasal hem de idari mekanizma ve teknik işleyişteki yetersizlikler, sektörde sorun üretmeye devam etmektedir. Dolayısıyla görece kanuni altyapıya kavuşmuş sektörün uygulamalarda kaynağın gelişmesini ve sürdürülebilirliğini etkileyen sorunlarının çözümü ve mevzuat yetersizliklerinin giderilmesi doğrultusunda yeni düzenleme ve iyileştirme çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç vardır [13].

### 3.3. Ülkemizde Jeotermal (*Toprak*) Kaynaklı Isı Pompaları Üzerine Yapılan Çalışmalar

Genellikle jeotermal (*kaynaklı*) ısı pompaları (JIP'ları) olarak adlandırılan toprak kaynaklı ısı pompaları (TKIP'ları), göreceli daha yüksek enerji kullanım verimleri nedeniyle geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine önemli bir alternatif olarak son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı içinde TKIP'ları dünya çapında en büyük enerji kullanımı ve kurulu kapasiteye sahiptir. 2014 yılı sonunda 12 kW eşdeğer kurulu kapasitesindeki cihazların sayısı 5 yıl öncesine göre %52 artış göstererek dünyada yaklaşık olarak 4,19 milyon adete ulaşmıştır [21]. Ülkemizde ise 1998 yılında ısıtma amacıyla kullanılan 26 kW kapasitedeki ilk konut uygulamasını izleyerek, 2000 yıllarının başında kurulu kapasite 43 adet cihaz ile 527 kW'a ve 2015'te 126 adet cihazla yaklaşık 100 MW'a ulaşmıştır.

2017 yılı istatistiklerine göre Avrupa Birliği'nde konut sektörünün son enerji kullanımındaki payı %27'dir. Konutlardaki son enerji kullanımının %36'sı doğal gaz, %24'ü elektrik, %18'i yenilenebilirler ve %11'i petrol ürünleridir [22, 23]. Türkiye'de 2017 yılında toplam enerji tüketiminin dağılımına bakıldığında ise, en yüksek tüketim %24,8 mesken ve hizmetlerde, %24,4 ise sanayi sektöründedir. Bunu %23,1 ile enerji ve çevrim sektörü, %19,6 ile ulaşım, %5,1 ile enerji dışı ve %2,9 ile tarım ve hayvancılık sektörü takip etmektedir [24]. Güneş bizim en büyük enerji kaynağımızdır. Petrol, doğal gaz, kömür, biyoenerji ve rüzgâr gibi tüm enerji kaynakları temelde güneş enerjisinden türemektedir. Güneş enerjisinin yayılma ve kararsız yapısı nedeniyle doğrudan tutulması yüksek maliyetli ve zordur. Ancak bu yapının temiz, çevre dostu ve işletme maliyeti bakımından etkin bir çözüm sağladığı da göz ardı edilmemelidir. Yerküre masif (*iri*) bir yapıya sahip olduğu için yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin hemen hemen yarısı jeokütlede yutulup bu kütle içerisinde depolanmaktadır. Toprak kütlesi ısıtma sezonunda dış havadan daha yüksek sıcaklıkta bir kaynak olarak kullanılabilir. Yazın ise soğutma için havadan daha düşük bir sıcaklık sağlayarak tüm yıl göreceli olarak sabit sıcaklıkta kalmaktadır [25,26].

İki temel ısı pompası sistemi vardır [26,27]: (a) *hava kaynaklı* ve (b) *su veya toprak kaynaklı*. Jeotermal ısı pompaları olarak da adlandırılan, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının, hava kaynaklı ısı pompalarına göre en önemli avantajları şunlardır:

- (i) Yaklaşık yıllık %33 daha az enerji tüketirler,
- (ii) Havadan daha fazla kararlı enerji kaynağıdır,
- (iii) Aşırı yüksek veya düşük dış hava sıcaklıkları süresince ilave ısı gerektirmezler,
- (iv) Daha az soğutucu akışkan kullanırlar,
- (v) Tasarımı ve bakımı basittir.

TKIP'larının etki katsayısının (COP değerinin) hava kaynaklı ısı pompalarından çok daha yüksek olmasından dolayı birim elektrik tüketimine karşılık çok daha yüksek ısıtma/soğutma kapasiteleri elde edilebilmektedir. Bu önemli avantajlarına rağmen toprak içerisine ısı değiştiricisinin gömülmesi veya enerji kaynağı için bir kuyunun sağlanması için gerekli olan ilave harcama nedeniyle bu sistemlerin ilk yatırım maliyeti nispeten yüksektir. Ancak bu sistemler sahip oldukları yüksek etki katsayıları sayesinde kurulur kurulmaz net tasarruf sağlamaktadırlar. TKIP'larının yıllık elektrik tüketimleri çalışma ömrü boyunca diğer alternatif yöntemlere göre oldukça düşüktür. İşletme maliyetlerindeki bu önemli tasarruf TKIP'larını uygulamada avantajlı kılmaktadır. Literatürde TKIP'ları üzerine yapılan sayısız çalışma mevcuttur. Toprak kaynaklı ısı pompalarının hem Türkçe hem de İngilizce literatürde farklı şekillerle kullanıldığı görülmektedir. Google arama sonuçlarına göre “*ground-source heat pumps* (toprak kaynaklı ısı pompaları)” ile ilgili 795000 sonuç ve “*geothermal heat pumps* (jeotermal ısı pompaları)” ilgili 1440000 sonuç elde edilmektedir. Türkçe olarak “*jeotermal ısı pompaları*” ve “*toprak kaynaklı ısı pompaları*” anahtar kelimeleri için yapılan aramalar sırasıyla 9220 sonuç ve 11700 sonuç çıkmaktadır.

Son zamanlarda hibrit, entegre ve özellikle yenilenebilir enerji esaslı çoklu üretim sistemlerinin tasarımı, analizi ve uygulaması yaygınlaşmaktadır [28]. Georgiev vd. [29] belirttiği gibi toprağın ısı pompaları için enerji kaynağı olarak kullanımı çok iyi bir şekilde geliştirilmiştir, ancak uzun süreler için

işletmede topraktaki yüklerde dengesizlikler oluşabilmektedir. Bu problemin üstesinden gelmek için güneş kolektörlerinin de entegre olduğu hibrit sistemlerle toprağa enjekte edilen enerjinin ilave bir enerji kaynağı olarak kombine edilmesiyle kullanılabilir. Bu bağlamda, güneş kolektörleri ve bir TKIP'dan oluşan hibrit bir sistem oluşturulup beş işletme şeklinde deneysel olarak test edilmiştir. Diğer seçenek ise düşey toprak ısı değiştiricilerinin (TID'lerinin) uzunluğunu artırmaktır. Ancak yüksek maliyetli sondaj işlemlerinden dolayı ilk yatırım maliyetleri önemli ölçüde yükselmektedir. Düşey tip TID'lere alternatif olarak özgün TID'leri geliştirilmiştir [30]. Çalışmada toprak ve hava kaynaklı ikili ısı pompası sisteminde yatay TID olarak düz bir panel kullanılmıştır. Bu sistem sayısal olarak analiz edilerek performansı elde edilmiştir [30]. Kayacı vd. [31] bina temelini içerisine konulan TID'lerinin sayısal ve deneysel analizleri üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Deneysel çalışmalar Yıldız Teknik Üniversitesi'nin Davutpaşa Kampüsü'nde yeni inşa edilen 2400 m<sup>2</sup>'lik Merkez Laboratuvarı'nda gerçekleştirmişlerdir. TID boruları binanın temelini altına (*toprak*) ve binanın temelini içine (*beton tabaka*) olmak üzere iki farklı şekilde yerleştirilmiştir. Toprak ve beton çevrimlerden çekilen günlük ortalama enerji değerleri sırasıyla 5,51 kWh ve 4,63 kWh olarak raporlanmıştır. Kayacı ve Demir [32] aynı sistem için matematiksel bir model oluşturmuştur. Deneysel ve sayısal günlük ortalama akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki maksimum yüzdesel hatalar sırasıyla, %8,36 ve %5,58 olarak belirlenmiştir.

### 3.3.1. Terminoloji ve Etkinlik/Verim Tanımları

Literatürde toprak kaynaklı ısı pompası teknolojisini açıklamak için çok farklı isimler kullanılmakta olup, terminolojik farklılıklar Hepbaşlı ve Ertöz [26] tarafından geniş kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Çok farklı isimlendirmeler olmakla birlikte yaygın bir kullanım olarak jeotermal ısı pompası/jeotermal kaynaklı ısı pompası (JIP/JKIP) ve TKIP olmak üzere iki terim karşımıza çıkmaktadır. Birinci tip kullanım (JIP/JKIP) genel olarak satış/pazarlama ve hükümetteki kişiler tarafından tercih edilirken, ikinci tip tanımlama (TKIP) genellikle mühendislik ve teknik literatürde karşımıza çıkmaktadır. TKIP (*toprak kaynaklı ısı pompası*) toprak, yeraltı suyu ve yüzey suyunu ısı kaynağı (veya *ısı kuyusu*) olarak kullanan ısıtma/soğutma sistemlerinin hepsini kapsayacak şekilde kullanılan bir terimdir [33]. Bunun yanı sıra sık sık JIP ifadesi de kullanılmaktadır. Tablo 18'de TKIP'larına ait alternatif isimlendirmeler hem Türkçe hem de İngilizce olarak listelenmiştir. Tabloda sunulan bu farklı kullanımlara ait kaynaklar Hepbaşlı ve Ertöz [26] tarafından detaylı olarak sunulmaktadır.

*Tablo 18. TKIP'larının farklı adlandırılmaları ([26]'dan uyarlanmıştır)*

Sıra No	İngilizce	Türkçe
1	Earth energy heat pumping systems	Yer enerjili ısı pompalama sistemleri
2	Surface water heat pump systems	Yüzey sulu ısı pompası sistemleri
3	Earth energy systems	Yer enerjili sistemler
4	Ground-source systems	Toprak kaynaklı sistemler
5	Groundwater heat pumps (GWHPs)	Yeraltı sulu ısı pompaları
6	Earth-coupled heat pumps (ECHPs)	Yer bağlantılı ısı pompaları
7	Well-source heat pump system	Kuyu kaynaklı ısı pompası sistemi
8	Ground-source heat pumps (GSHPs)	Toprak kaynaklı ısı pompaları
9	Geothermal heat pumps (GHPs)	Jeotermal ısı pompaları
10	Ground-coupled heat pumps (GCHPs)	Toprak bağlantılı ısı pompaları
11	Ground-water source heat pumps	Toprak-su kaynaklı ısı pompaları
12	Well water heat pumps	Kuyu suyu ısı pompaları
13	Solar energy heat pumps	Güneş enerjili ısı pompaları
14	GeoExchange systems	Jeo dönüşüm sistemleri
15	GeoSource heat pumps	Jeo kaynaklı ısı pompaları

Enerji fiyatlarının günden güne artması, tüketicinin bilinçlenmesi ve çıkarılan yasal yönetmelikler bizi enerjiyi daha verimli ve etkin bir biçimde kullanmaya zorlamaktadır. Bu çerçevede, enerjinin ne denli verimli kullanıldığına belirlenmesinde verimlilik (veya *etkinlik*) ile ilgili kavramların ve bunların standart değerlerinin bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Isıtma, iklimlendirme ve soğutma endüstrisinde sırasıyla, etki (*tesir*) katsayısı (COP) ve yanma verimi gibi etkinlik ve verimi açıklayan birçok terim kullanılmaktadır. Tablo 19’ da ısı pompalarında kullanılan etkinlik ve verim tanımları listelenmiştir [26]. Esasen tek bir çalışma durumuna ait performans değerlendirilmesi yeterli değildir. Bu nedenle günümüzde mevsimsel performans (*etki*) katsayısı büyük önem taşımaktadır. Bu sayede kurulan ısıtma/soğutma sisteminin yıllık bazda performansı ve enerji tüketimi hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir.

*Tablo 19. Isı pompalarında kullanılan etkinlik ve verim tanımlarının listesi ([26]’dan uyarlanmıştır)*

Sıra No	Gösterim	İngilizce	Türkçe
1	EK (COP)	Coefficient of Performance	Etki Katsayısı
2	SEK	Coefficient of Performance for Heating	Soğutma Etki (Tesir) Katsayısı
3	IEK	Coefficient of Performance for Cooling	Isıtma Etki Katsayısı
4	EVO (EER)	Energy Efficiency Ratio	Enerji Verimlilik (Etkinlik) Oranı
5	IMPF (HSPF)	Heating Seasonal Performance Factor	Isıtma Mevsimsel Performans Faktörü
6	EKYD (IPLV)	Integrated Part Load Value	Entegre Edilmiş Kısmi Yük Değeri
7	KWT	kW/ton	kW/ton
8	MEVO (SEER)	Seasonal Energy Efficiency Ratio	Mevsimsel Enerji Verimlilik Oranı
9	MPF (SPF)	Seasonal Performance Factor	Mevsimsel Performans Faktörü
10	MEK (SCOP)	Seasonal Coefficient of Performance	Mevsimsel Etki Katsayısı
11	KMPF (CSPF)	Combined Seasonal Performance Factor	Kombine Mevsimsel Performans Faktörü

### 3.3.2. TKIP’lerinin Kısa Tarihsel Gelişimi

Hepbaşlı ve Ertöz [26] tarafından yapılan çalışmada TKIP’lerinin yeni bir fikir olmadığı ve ilk olarak 1912 yılında Heinrich Zoelly tarafından İsviçre patenti ile TKIP’lerin faydalarının tanıtıldığı vurgulanmaktadır [34]. 1912 yılında başlayan TKIP serüveniyle ilgili takip eden yıllara ait önemli satır başları Hepbaşlı ve Ertöz [26] tarafından şu şekilde belirtilmiştir:

- 1940’lı yıllarda TKIP’lerinin Termodinamik yararı, ısı kaynağı olarak toprağa gömülen metal serpantinler içinde salamura dolaştırılarak çarpıcı şekilde gösterilmiştir. Serpantin borularında karşılaşılan korozyon sorunları toprak serpantinlerini kullanışsız kılmış ve hava kaynaklı ısı pompalarının gelişimini zorlamıştır. Daha sonraki yıllarda plastik borular kullanılarak korozyon sorunlarının üstesinden gelinmiş ve TKIP’leri üzerine araştırmalar hızlanmıştır [35].
- ABD’de TKIP teknolojisine olan ilgi 1940 –1950 yıllarında artmıştır. O yıllardaki teknolojik imkânsızlıklar nedeniyle toprak altındaki borularda yaşanan korozyon ve pahalı olmayan doğal gaz alternatifi nedeniyle ilgi azalmıştır.
- 1973 petrol ambargosu süresince dünya genelinde alternatif enerji uygulamalarına yönelik artan ilgi TKIP’lerinin da tekrar ele alınmasını sağlamıştır. Bu bağlamda ilk olarak İsveç’te ve birkaç yıl sonra Oklahoma State University’de TKIP teknolojisine iyileştirilmesine yönelik bir araştırma programı başlatılmıştır [36]. Bu teknolojik yatırımların doğal bir sonucu olarak 1988 yılı itibarıyla İsveç’te toplam 134000 TKIP’nin aktif olarak kullanımda olduğu bildirilmektedir [37].

- Amerika’da 1990 yılı itibariyle yaklaşık olarak 100000 TKIP konut ve ticari uygulamalarda kullanılmıştır. 1985 yılında sadece Amerika’da 14000 TKIP’nın kurulduğu tahmin edilmektedir. 1993 yılında Amerikan Soğutma Enstitüsüne (ARI) bildirilen yıllık ünite satış sayısı 17300 olarak belirtilmektedir [38]. Burada tüm imalatçıların TKIP satış rakamlarını bildirmemelerine rağmen yıllık bazda satış sayılarının bu denli artması dikkat çekicidir. 1997 yılı sonu itibariyle yaklaşık olarak 400000 TKIP’nın kullanımında olduğu raporlanmaktadır [39].
- Son zamanlarda, güney yarımküre (örneğin; Avustralya) ve Asya’daki ülkeler (örneğin; Japonya, İran ve Çin) çevresel ve ekonomik yararları nedeniyle bu teknolojiye ilgi göstermektedirler [40, 41].

### 3.3.3. TKIP’lerinin Mevcut Durumu

TKIP’ları dünya çapında en büyük enerji kullanımı ve kurulu kapasiteyi göstermiştir. 2014 yılı sonu itibariyle yıllık enerji kullanımının %55,15’i ve kurulu kapasitenin %70,90’nu TKIP’lar oluşturmuştur. Isıtma modunda 0,206 kapasite faktörüyle kurulu kapasite 50258 MWt ve yıllık enerji kullanımı 326848 TJ olmuştur. Kurulumlar yoğun olarak Kuzey Amerika, Avrupa ve Çin’de gerçekleşmesine rağmen, kurulum olan ülkelerin sayısı 2000 yılında 26 ülkeden, 2005’te 33’e, 2010’da 43’e ve 2015’te 48’e çıkmıştır. Tipik olarak ABD ve Batı Avrupa’da olan 12 kW’lık eşdeğer kurulu cihazların sayısı yaklaşık olarak 4,19 milyondur. Bu veriler 2010 yılında bildirilen sayıya göre %52’lik bir artış ve 2005’tekinin göre 3 kat artış demektir. Bununla birlikte cihazların kapasiteleri evsel kullanım için 5,5 kW’tan ticari ve kurumsal kullanımlar için 150 kW’tan fazlasına kadar geniş bir spektrumda değişmektedir. Amerika’da çoğu cihaz pik soğutma yüküne göre boyutlandırılır ve ısıtmaya göre ise büyük boyutlandırılır. Bu yüzden yılda sadece ortalama olarak 2000 tam yük saati (kapasite faktörü 0,23) tahmin edilmektedir. Avrupa’da çoğu cihazlar ısıtma yüküne göre boyutlandırılmakta olup genellikle fosil yakıtlarla pik yük alınacak şekilde tasarlanırlar. Sonuç olarak bu cihazlar yılda 6000 eşdeğer tam yük ısıtma saati işletilebilirler. Eşdeğer tam yük ısıtma saatlerinin gerçek değeri bildirilmediğinde 2200 h/yıl değeri (bazı kuzey ülkeler için daha fazlası) kullanılmıştır [42]. Burada verilen değerlerin Lund ve Bo [42] tarafından 5 yılda bir yapılan Dünya Jeotermal Kongresinde sunulan ülke raporları ışığında derlendiğine dikkat edilmelidir. Son güncel bilgiler, 21 Mayıs – 26 Mayıs 2021 tarihleri arasında İzlanda’da yapılması planlanan “2020 Dünya Jeotermal Kongresi” ardından ortaya çıkacaktır [43]. TKIP’ları gelişmiş ülkelerde uzun yıllardır kullanılmasına ve bileşenlerinin performansı oldukça iyi bir şekilde belgelendirilmesine rağmen ülkemizde konutlarda ve ticari binalarda kullanımı o denli eski değildir. Bir sonraki bölümde ülkemizde yapılan çalışmalar özetlenecektir.

#### 3.3.3.1. Ülkemizde Üniversitelerde Yapılan Çalışmalar

Türkiye’de TKIP’ları üzerine yapılan çalışmaların ele alındığı ve uluslararası ilk derleme bildiri çalışması Hepbaslı ve Gunerhan [44] tarafından 2000 yılında yapılmıştır. Burada vurgulandığı üzere ısı pompalarıyla topraktan yararlanma üzerine ülkemizdeki ilk çalışma teorik olarak 1981’de Kılıç [45] tarafından gerçekleştirilmiştir. Hepbaşlı [46] tarafından 1985 yılında TKIP ile bir konutun ısıtılması Yüksek Lisans tezi kapsamında teorik olarak incelenmiştir.

Üniversitelerde teorik olarak değişik çalışmalar yürütülmüş olup bu bölümde üniversitelerde kurulan deneysel sistemlere yer verilecektir. Ülkemizde ilk deneysel çalışma 1986 yılında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü’nde gerçekleştirilmiştir [47]. Tablo 20’de 1999 – 2000 yılları arasında Atatürk Üniversitesi ve Ege Üniversitesi bünyesinde yürütülen deneysel çalışmalara ait özet bilgiler sunulmaktadır [47–52]. 2015 yılında Korkmaz [53] tarafından TKIP sistemleri üzerine ülkemizde yapılan bilimsel çalışmalar teorik ve deneysel olarak değerlendirilmiştir. Tablo 21’de ülkemizde TKIP’ları üzerine yapılan deneysel çalışmaları olan üniversiteler incelenerek listelenmiştir. Tablo 20 ve 21’de ilgili araştırmacıların sadece seçili bazı (özellikle ilk) yayınlarına ve/veya /projelerine yer verilmiştir. Burada ana amaç TKIP sistemlerinin bulunduğu üniversiteleri ve sistem özelliklerini kısaca ele almaktır. Tablo 21’deki çalışmalara ilave olarak bir doktora tezi kapsamında, Mardin Artuklu Üniversitesi’nde çalışan bir araş-

tırmacı [76] tarafından Midyat/Mardin’de kurulan her biri 100 m derinliğinde olan 2 düşey TID olan, güneş enerjisi destekli ve R 407c soğutucu akışkanlı bir TKIP sistemi araştırılmıştır. Bu sistemde, paralel bir U–boru sistemiyle, 200 m düşey ve 20 m yatay olarak DN25’lik polietilen boru kullanılmıştır. 1 Kasım 2013 – 31 Mart 2014 tarihleri arasında yapılan ölçüm sonuçları ve hesaplamalara göre 100 m derinlikteki toprak sıcaklığı 13,2°C (Şubat) ve 14,2°C (Mart) olarak raporlanmıştır. Diğer taraftan sistemin ısıtma modunda COP değeri 4,06 – 4,12 (ısı pompası ünitesi) olarak elde edilirken, tüm sistemin COP değeri ise 3,60 – 3,65 olarak belirtilmiştir [77]. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü’nde kurulu bir TKIP’nın olduğu bilinmektedir ancak bu sisteme ait özellikler buraya eklenmemiştir.

**Tablo 20.** 1986–2002 yılları arasında TKIP olan üniversiteler ([21]’den uyarlanmıştır)

Kurum Adı	Yayınlandığı Yıl [Kaynak]	Kapasitesi (kW)	TKIP Tipi
ODTÜ, Ankara	1986 [47]	0,95	Tek borulu yatay toprak ısı değiştiricili, sadece ısıtma amaçlı, soğutucu akışkan: R-12, 10 m uzunluğundaki serpantin 0,6 m aralıkla 1,5 m derinliğe yerleştirilmiştir. COP= 1,1-1,3 Kapasitesi: 0,95 kW.
Atatürk Üniversitesi, Erzurum	1999 [48]	7,02	Sudan suya TKIP, sadece ısıtma amaçlı, soğutucu akışkan R-22, jeotermal akışkanın giriş/çıkış sıcaklıkları 35/30°C, COP=2,8
Ege Üniversitesi, İzmir	2000 [49-51] 2002 [52]	5,2	Düşey tek U tipi toprak ısı değiştiricili, 50 m derinliğinde, dış boru (sondaj borusu) çapı 4-1/2 inç, hacmin ısıtılması ve soğutulması amaçlı

**Tablo 21.** 2002–2020 yılları arasında TKIP olan üniversiteler ([21]’den uyarlanmıştır)

Kurum Adı	Yayınlandığı Yıl [Kaynak]	Amaç	TKIP Tipi
Fırat Üniversitesi, Elazığ	2002[54] 2004 [55]	Hacim ısıtması ve soğutması	16,24 m <sup>2</sup> ’lik test odasına bağlanan, 0,3 m aralıklarla, her biri 0,016 m çapında ve 50 m uzunluğunda olan, 1 ve 2 m farklı derinliklere döşenen, yatay Toprak Isı Değiştiricisi (TID); Kasım 2002-Nisan 2003 ısıtma sezonunda, COP = 2,66-2,81; soğutucu akışkan tipi: R 22; kapasitesi; ısıtma 2,5 kW ve soğutma: 3,1 kW.
Ege Üniversitesi, İzmir	2005 [56,57]	Sera ısıtması	Kaynak [49-51] sistem, seraya entegre edilmiş ve güneş enerjisi destekli düşey TID’li bir TKIP sistemi oluşturuldu.
Fırat Üniversitesi, Elazığ	2005 [58,59]	Ürün Kurutması	Kaynak [49-51] sisteme, kurutma sistemi entegre edilerek, güneş enerjisi destekli düşey TID’li TKIP bir kurutma sistemi oluşturuldu.
Fırat Üniversitesi, Elazığ	2007 [60] 2009 [61]	Hacim ısıtması ve soğutması	40 mm dış çapındaki polietilen borudan yapılan, 2 ve 3,4 m iki farklı yatay mesafelerde, 30, 60 ve 90 m derinlikleri olan, 150 mm sondaj kuyu çapında, üç adet tek U-borulu düşey TID’li; soğutucu akışkan tipi: R 22; COP = 1,98-3,05 (ısıtma) ve COP = 2,69-3,45 (soğutma); topraktan ısı çekme miktarı: 6,14, 8,61 ve 10,58 kW.
Uludağ Üniversitesi, Bursa	2008 [62] 2009 [63]	Hacim ısıtması ve soğutması	Nominal çapı 16 mm ve uzunluğu 20 m olan borudan oluşan yatay TID, 0,30 m aralıkla topraktan 2 m derinliğe konulmuş; ilk testlerin yapıldığı: Aralık 2004-Mart 2005; soğutucu akışkan tipi: R 134a; COP = 2,46-2,58 (ısı pompası ünitesi) ve 4,03-4,18 (tüm sistem).
Fırat Üniversitesi, Elazığ	2009 [64] 2013 [65]	Sera Isıtması	Kaynak [64]’e ait değerler olup, Kaynak [65]’te düşey TKIP yapıldı, kıyaslama yapıldı. Nominal çapı 16 mm ve uzunluğu 246 m olan borudan oluşan yatay TID, 0,30 m aralıkla topraktan 2 m derinliğe konulmuş; 1 Eylül 2005-30 Nisan 2006 tarihlerindeki ısıtma modundaki ölçümlere dayalı; kompresör kapasitesi: 5,484 kW (0/46°C soğutma/yoğuşma sıcaklıklarında); soğutucu akışkan tipi: R 22; COP = 2,3-3,8 (ısı pompası ünitesi) ve 2-3,5 (tüm sistem).
Atatürk Üniversitesi, Erzurum	2011 [66,67]	Hacim ısıtması	Kaynak [66]’ya ait değerler; çapı 32 mm ve derinliği 53 m olan 2 adet U-tipi düşey TID’li güneş enerjisi destekli TKIP sistemi; Mayıs 2008-Ekim 2009 stürcindeki ısıtma modundaki ölçümlere dayalı; soğutucu akışkan tipi: R 134a; kompresöre verilen güç; 2,61 kW; COP = 3-3,4 (ısı pompası ünitesi) ve 2,7-3 (tüm sistem).
YTÜ, İstanbul	2014 [68] 2016 [69, 70]	Hacim ısıtması ve soğutması	Her birinin derinliği 65 m, nominal çapı (DN) 40, sondaj borusu çapı 0,15 m olan, 2 adet düşey U-tipi ile 45 m uzunluğunda yatay yerleşen TID; duvar ısıtma/soğutmasıyla kombine edilen TKIP sistemi; 1 Ocak-31 Mart 2010 tarihleri arasındaki ölçümlere dayalı, topraktan ısı çekme akımı (ısıtmada) 50 W/m ve toprağa atma (soğutmada) akımı 54 W/m; COP = 2,76 (ısı pompası ünitesi) ve 4,13 (tüm sistem); soğutma modunda, COP = 4,38 (ısı pompası ünitesi) ve 4,78 (tüm sistem) [49]
Gazi Üniversitesi, Ankara	2015 [71]	Hacim ısıtması ve soğutması	Nominal çapı 32 mm ve derinliği 40 m olan düşey TIP’si olan ve 20,7 m <sup>3</sup> hacmi ısıtan TKIP sistemi; soğutucu akışkan tipi: R 407c; ısıtma modunda, COP = 3,85 (ısı pompası ünitesi) ve 3,12 (tüm sistem); soğutma modunda, COP = 2,81 (ısı pompası ünitesi) ve 3,45 (tüm sistem); ısıtma kapasitesi: 1,85 kW.
Karabük Üniversitesi	2015 [72]	Hacim ısıtma	Boyutları 0,4x0,5x0,4 m olan ve yaklaşık 100 kg toprak (ince taneli, koyu gri tonlarda kum) kapasitesine sahip toprak hazneli TID; hazne dışarıdan ve içerden oluşabilecek ısı kayıplara karşı 3 cm kalınlığında strafor malzemeyle yalıtılmış; buharlaştırıcı serpantin 3,80 m uzunluğunda plastik hortum (iç/dış çapı: 17/22 mm); kompresör gücü: 160 W, soğutucu akışkan tipi: R-134a.
İTÜ	2017 [73]	Laboratuvar	Enerji enstitüsünde, “Toprak Kaynaklı Isı Pompaları Araştırma Laboratuvarı”nda, 35 kW’a kadar ısı pompası test sistemi vardır. Yatay ve düşey toprak ısı değiştiricileri, toprak altı ısı değiştiricileri performans ölçüm sistemi, toprak altı sıcaklık ölçüm sistemi ve mobil toprak altı termal cevap test aracı vardır. Sistem 2012 yılında kuruldu. Değişik tez çalışmaları yürütüldü.
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	2019 [74]	Hacim ısıtması ve soğutması	6x27 m taban alanına, 2,5 m derinlikte açılan çukura yerleştirilmiş, 370 m uzunluğunda ve PE100 (polietilen) borudan oluşan yatay TID olan ve 51,3 m <sup>3</sup> hacmi ısıtan/soğutan TKIP sistemi; 10,5 kW ısıtma ve 8,5 kW soğutma nominal kapasitelerindeki hazır ısı pompası kullanılmış; 16 Aralık 2017 (ısıtma) ve 29 Haziran 2018 (soğutma) aylarına dayalı; soğutucu akışkan tipi: R 410a; ısıtma modunda, COP = 2,10 (ısı pompası ünitesi) ve 1,83 (tüm sistem); soğutma modunda, COP = 4,79 (ısı pompası ünitesi) ve 3,86 (tüm sistem).
	2020 [75]	Isıtma	1 m aralığı konulan U-tipi ve spiral olmak üzere iki tip yatay TID olan TKIP sistemi; toplam uzunluğu 73,73 m; tabaka mesafesi 0,54 m ve 12 tabakalı; soğutucu akışkan tipi: R 410a; hacmin ısıtma yükü: 2,21 kW; 18 Kasım 2018-17 Ocak 2019’da Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> nano akışkan (%0,1 hacimsel konsantrasyonda) kullanılan sistemin COP’isi, etilen glikol-su karışımı kullanılarak, U-tipi TID’nde %2,5 ve spiral TID’de % 3 daha fazla; topraktan özgül ısı çekme oranları: U-tipi yatay TID ile, glikol-su karışımı için, 22,06 W/m, 0,1 ve 0,2 hacimsel konsantrasyon oranlarında nano akışkan için, sırasıyla, 22,51 W/m ve 22,15 W/m.

### 3.3.3.2 Ülkemizde Isı Pompası Piyasasında Yapılan Çalışmalar

Üniversitelerde deneysel çalışmaların yürütüldüğü 1999 yılında TKIP'lerinin imalatı ülkemizde yoktu. Thermia (İsveç), TETCO Brand Geothermal Products (Amerika), Climate Master (Amerika) ve McQuay International (Amerika) gibi yurt dışı marka TKIP'ları pazarlayan yerli firmalar vardı [26]. TKIP'nin ilk konut uygulaması 1998 yılında yurt dışından ithal edilen 26 kW ısıtma kapasitesindeki TKIP'nin kullanılmasıyla, İstanbul'da 276 m<sup>2</sup>'lik bir villaya yapılmıştır [44]. 2000 yılının başından itibaren bu sistemler en büyük gelişimini gösterdiler ve 2001 yılında toplam 23 cihaz adediyle (12 kW eşdeğer cihazların sayısı 43 olmak üzere) 527 kW kurulu kapasiteye ulaşılmıştır [78].

Türkiye'deki ilk büyük TKIP uygulaması Meydan AVM/Ümraniye, İstanbul projesidir. Proje çalışmalarına 2005 yılında başlanmış ve sistem 2007 yılının Ağustos ayında devreye alınmıştır. 2017 yılı itibarıyla toplam 18327 m sondaj ve borulaması ile Avrupa'nın en büyük ilk beş TKIP uygulamasındandır. Isıtma ve soğutma yükleri, sırasıyla, yaklaşık olarak 1200 kW ve 3500 kW'tır [79, 80]. 2012 yılında ülkemizde bir firmanın İTÜ ile iş birliği içerisinde yerli üretim TKIP geliştirilmesine başlanmış [81] ve bu iş birliği neticesinde ilk yerli cihaz imal edilmiştir [73]. Ancak üretilen bu yerli TKIP seri üretime geçmemiştir. 2015 yılına kadar TKIP olan ilgi istenilen düzeyde olamasa da artış eğilimini sürdürmeye devam ettirerek 126 TKIP cihaz sayısı ile kurulu kapasite değeri 99,92 MW'a ulaşmıştır [82]. Bu verinin TKIP ithalatı yapan farklı firmalarla görüşmeler sonucu elde edildiğine ve bu konuda güvenilir resmi istatistiksel bilginin olmadığına dikkat edilmelidir [21].

31 Ekim 2017 tarihinde, yeni adıyla, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından "Isı Pompası Teknolojileri ve Kullanım Alanları" konulu çalıştay, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, kamu, kurum, kuruluşları ve özel sektörden yaklaşık 230 kişinin katılımıyla Ankara'da gerçekleştirilmiştir. Çalıştayda, ısıtma ve soğutma amacıyla hava, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının, yatırım ve işletim maliyetleri, sistem karşılaştırmaları, uygulama örnekleri, finansman kaynakları ve hibrit uygulamalara yönelik değerlendirmeler yapılmıştır [83]. Bu çalıştayda sunulan ısı pompası ve mevzuatı konulu bildiriye ısı pompalarının Avrupa Birliği direktiflerindeki yeri, binalarda enerji performansı yönetmeliğindeki yeri, mevzuatın sağlayacağı avantajlar, mevzuattaki engeller, çözüm önerileri ve değerlendirmeler ele alınmıştır [84].

### 3.3.4. TKIP'lerinin Piyasada Gelişimini Etkileyen Faktörler ve Teknolojik Gelişim Yönleri

TKIP'ların kullanımı dünyada gittikçe artan bir teknolojidir. Bunun beraberinde her yerde hemen hemen birbirine yakın zorluklar söz konusudur. Bazı olgunluğa ulaşmış piyasalarda durum halen kararlı iken, diğerlerinde ise bir artış görülebilmektedir. TKIP'ların piyasada gelişimini etkileyen önemli faktörler şu şekilde özetlenmiştir [85]:

- a) *TKIP teknolojisi ve yararları konusunda farkındalığın bulunmaması:* Özellikle mimarların, bina sektörünün ve yerel otoritelerin daha iyi bilgilendirilmesi gereklidir.
- b) *Maliyet yoğunluğu:* Bu husus özellikle yatırım değerlendirilmesinde önemli bir konudur. Sondaj maliyetleri nedeniyle, TKIP'ları diğer küçük ölçekli uygulamalara kıyasla maliyet yoğun olarak göz önüne alınmaktadır.
- c) *Doğal gazla uygun olmayan rekabet:* Jeotermal ısı teknolojileri rekabette doğal gazla göre bazı durumlarda öne çıkmakla birlikte halen desteklenmesi gereken hususlar vardır.
- d) *Yönetmelikler:* Yönetmelikler ya çok sıkı kurallar ya da belirsiz prosedürlerle bir engel oluşturabilirler. Uygun olmayan yerlerde veya özen gösterilmeden yapılan sondaj ve hatta yönetmelikteki bir boşluk, zamanla bir engele dönüşebilir. Bazı ülkelerde basitleştirmeler, diğerlerinde daha kararlı yönetmelikler ve hemen hemen her yerde yetkililer dâhilinde daha iyi bir bilgi gereklidir.



- e) *Kötü tanıtım (uygulamalar)*: Sorunlara neden olan kötü planlanmış bazı projeler bu tarz olumsuz algılara yol açabilmektedir.

TKIP ısı pompalarının bazı teknolojik gelişim yönleri aşağıda özetlenmiştir [86]:

- a) *TKIP'lerinin performansı*: 1970'lerde Avrupa'da sunulduğundan bu yana TKIP performansı önemli derecede iyileştirilmiştir. Avrupa'da ilk tesisler İsveç, Almanya ve İsviçre'de kurulmuş ve bu uygulamalar sadece ısıtma amacıyla oluşturulmuştur. Bu bölgelerde mevsimsel etki katsayısı (performans faktörü, COP), 1980'lerde 3'ün altındayken, 2017'de 4'ün üzerinde bir mevsimsel etki katsayısı elde edilmiştir. Sürekli gelişen ve çeşitlenen AR-GE faaliyetleriyle 2020'de ortalama mevsimsel etki katsayısı değerlerinin 5 mertebelerine ulaşabileceği öngörülmektedir.
- b) *Bileşen verimlilik iyileştirilmesi*: En popüler toprağa bağlantı teknolojisi kuyu içi ısı değiştiricisidir (*borehole heat exchanger*). Verimi yüksek olan kuyu içi ısı değiştiricisi, toprak ve iş akışkanı arasında az bir sıcaklık farkı oluşmasını sağlamaktadır. Bu sıcaklık farkı ısı değiştiricisinin ısıl direnciyle ilişkilidir. Isıl direnç değerleri 2007'den 2017'ye kadarlık 10 yıllık süreçte %40'tan fazla düşürülmüştür. Isı değiştiricisi performansının çok daha yükseklere çıkarılmasına yönelik halen iyileştirilebilecek önemli bir potansiyel bulunmaktadır.
- c) *Maliyetler*: Maliyetlerin sürekli azalan yönde eğilim göstermesi bu sistemlerin yaygınlaşması açısından en önemli avantajdır.

### 3.3.5. Ülkemizde TKIP Konusunda Yapılabilecek Çalışmalar

31 Ekim 2017 tarihinde, "Isı Pompası Teknolojileri ve Kullanım Alanları" konulu çalıştayda önemli değerlendirmeler yapılmış ve birtakım öneriler sunulmuştur. Çalıştayda özellikle ısı pompası konularında ilgili kurum ve kuruluşların üzerine düşen görevi yerine getirmesinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Burada belirtilen hususlar genel olarak ısı pompaları için tartışılmış olsa da benzer saptamalar TKIP için de aynen geçerlidir. Çalıştay kapsamında ülkemizde ısı pompasının etkin ve yaygın kullanımına yönelik önerilen belli başlı hususlar aşağıda listelenmiştir [83]:

- Isı pompalarının tanıtılması, kullanımının artırılması, sektörün sorunlarının ve ihtiyaçlarının iyi analiz edilmesi ve gerekli tedbirlerin alınmasına yönelik olarak bir "Isı Pompası STK'sının" kurulmasının faydalı olacağı,
- Yeraltı ve yeraltı suyu sıcaklıklarını değişik derinliklerde mevsimsel değişimlerini gösteren bir potansiyel haritasının yapılmasının faydalı olacağı,
- Isı pompalarının çalışma prensiplerinde önemli noktalar vurgulanarak mevsim, iklim, sistem ve uygulama yerleri de göz önünde bulundurularak verim tanımının yapılmasının gerekliliği,
- Isıya ülkemizin ve Avrupa'nın değer verdiği ifade edilirken aynı zamanda ısısının satılabilir meta olduğunu bunun için kanun ve yönetmeliklerin hazırlanması gerektiği,
- Isı depolaması ile kaynağın sıcaklığının değiştirilebileceği ve böylece daha az enerji kullanılarak ihtiyaç duyulan ısıya ulaşılabileceği ve böylece de yenilenebilir enerji kaynaklarıyla da entegre edilebileceği,
- Isı pompalarının depolama sistemleri ve yenilenebilir enerji kaynakları entegre edilerek yüksek verimlilik değerlerine çıkmanın mümkün olduğu,

- Isı pompalarının standartları hakkında çalışma yapılması,
- Isı pompası ile ilgili bilgilerin farklı konuşulması, farklı söylemlere yer verilmesinin uygulamayı zorlaştırdığı, ısı pompasının net bir tanımının olması gerektiği, mevzuatta ısı pompalarının uygulanması ile ilgili bölümlerin netleştirilmesi, mevzuatın revize edilmesi ile belirsizliklerin ortadan kalkmasıyla uygulanabilirliğin kolaylaşacağı,
- Yönetmelikte 20000 m<sup>2</sup> üzerindeki binaların analiz edilmesi ile ilgili maddenin çalışmadığı ve revizesinin gerektiği, bina büyüklüğüne göre değil bina enerji tüketimine göre çevre, teknik ve ekonomik analizler yapılarak ısı pompasının yaygınlaştırılması,
- Isı pompalarının milli enerji içinde çok önemli bir yere sahip olduğu, AR-GE çalışmalarının hızlandırılması ve devlet desteğinin ısı pompaları kullanımının yaygınlaştırılması açısından önemli olduğu,
- Isı pompalarının bakımı ve işletmesi, potansiyel kullanıcılara yönelik bilgilendirme çalışmalarının önemli olduğu, başarılı uygulamalarının anlatılması ve eğitim toplantıları ile ısı pompasının bilinirliğinin artırılması gerektiği,
- Dekarbonizasyon için AB ülkelerinde 2030 ve 2050 yol haritalarının hazırlandığı, ülkemizin de yol haritasının belirlenmesinin geleceğimiz açısından çok önemli olduğu,
- Isı ihtiyacı olan yerlerde ısının üretilmesi gerektiği, ısı değiştiricileri ile bu yapılırsa ısı pompaları konusunda diğer ülkelerle yarışılacağı,
- Bir iş modeli geliştirilerek akıllı şehirleşme ve endüstri 4.0'da ısı pompalarının merkeze alınması gerektiği, AR-GE çalışmalarının yapılmasının ilerleme açısından önemli olduğu,
- Isı pompalarının geleceğin ısı kaynağı olma yolunda ilerlediği ve çevreci bir sistem olduğu, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarının daha kolay kullanılabildiği,
- Yeniden düzenlenen enerji piyasalarında ısıtma, soğutma ve puant yük yönetimi için ısı piyasasının oluşturulması gerektiği,
- Kentsel dönüşümlerde ısı pompalarının kullanımının önünün açılması gerektiği,
- Isı pompalarının fiyat/para endeksliliğinden çıkarılması gerektiği,
- Elektrik üreten tüm santraller için verimlilik hedefi konularak atık ısının değerlendirilmesinin önemli olduğu,
- Isıtma ve soğutma sistemlerinde mühendislik katma değerlerine devletin destek vermesi gerektiği,
- Danimarka ile yapılan anlaşmanın, bölgesel ısıtma ve katı atıklar ile endüstriyel atıkların değerlendirilmesinin ülkemiz ve dünyamız açısından önemli olduğu.

Sıralanan bu maddelere ilave olarak ülkemizde kullanılan TKIP'ları üzerine sağlıklı bir verinin (sayıları, kapasiteleri, kullanım amaçları, vb.) toplanması gerekmektedir. Bu bağlamda, Avrupa'da ısı pompası cihaz sayısı hesabının sadece ısı pompası cihazı ile ısıtılan yerler için yapıldığı, başka bir deyişle bir mekanda ısı pompası cihazı varsa ve bu mekanda aynı zamanda ısıtma için fosil yakıtlı başka bir

ekipman da varsa, bu cihazın sayıma girmediği belirtilmektedir [86]. Amerika’da ise, 12 kW eşdeğer kapasite ele alınarak sayılar verilmektedir [42]. Ülkemizde de belli bir standart uygulama çerçevesinde mevcut kullanım sayısı ve kapasitesi elde edilerek yol haritalarının ve yönlendirmelerin yapılması önem arz etmektedir.

### 3.4. Ülkemizde Jeotermal Kaynaklı Pilot Sağlık Projesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Yükseköğretim Kurulu (YÖK) Başkanlığı tarafından yürütülmekte olan “Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Farklılaşması ve İhtisaslaşma” programı kapsamında jeotermal ve tarım alanında hazırladığı projelerle 41 üniversite arasından seçilen ilk 5 pilot üniversiteden biri olmuştur. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi bünyesinde halen jeotermal kaynaklar bulunan ve bunu bir Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Merkezi’nde tedavi amaçlı kullanan ülkemizdeki birkaç üniversiteden biridir. Kırşehir ilinde geleneksel yöntemlerle uygulanan jeotermal tedavi uygulamalarını yüksek teknolojik donanıma sahip Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon (FTR) uygulamaları, geleneksel–tamamlayıcı tıp uygulamaları ve sporcu sağlığı ve rehabilitasyonu uygulamaları ile birleştiren pilot sağlık projelerinin amacı Kırşehir’i bir sağlık–spor turizm merkezi haline getirmek ve yerel–bölgesel kalkınmaya katkı sağlamaktır [87].

Günümüzde insan ömrü giderek uzamakta, kronik hastalıkları olan yaşlı nüfus ve hastalıklara bağlı fonksiyon kaybı ile yaşamak zorunda olan özür/engelli sayısında önemli bir artışlar gözlenmektedir. Bu duruma bağlı olarak hastalıklar/kazalar sonrasında gelişen fonksiyon kayıplarının geri kazandırılmasına yönelik rehabilitasyon hizmetlerine olan talep giderek artmaktadır. Rehabilitasyon tıbbına olan bu ilgi ve ihtiyacın artması zengin jeotermal kaynaklara sahip olan ülkemizin ve özelde Kırşehir’in önemli bir termal sağlık turizmi merkezi olması için bir fırsat olarak değerlendirilmektedir. Ancak sağlık ve turizm sektöründe fizik tedavi hizmetlerinde jeotermal kaynaklarının etkin kullanılmaması, termal tesislerin nicelik ve nitelik yönünden yetersizliği ve uluslararası standartlarda ve akredite olmuş termal tesislerin oluşturulamaması nedeniyle diğer ülkelerle rekabet ortamı sağlanamamıştır. Ülkemizdeki çoğu jeotermal kaynak sadece kaplıca kürü amaçlı oteller tarafından veya sadece ilkel banyolar olarak halk tarafından kullanılmakta ve jeotermal kaynaklar uygun katma değer oluşturulamadan israf olmaktadır. Hâlbuki jeotermal kaynakların sağlık ve tedavi amaçlı kullanım değerinin kaplıca turizmi ve rekreasyonel amaçlı kullanım değerinden çok daha fazla olduğu bilinmektedir. Jeotermal kaynakların daha etkin ve verimli kullanılmasına yönelik olarak dünyada geleneksel kaplıca kullanımından farklı bir anlayış ve yaklaşım gelişmeye başlamış ve jeotermal kaynaklar tıp, sağlık ve spor alanlarında etkin olarak kullanılmaya başlamıştır. Dünyada gelişen bu yeni anlayışın gereği olarak Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi öncülüğünde Kırşehir’de halen geleneksel yöntemlerle kullanılan jeotermal kaynakların sağlık ve spor alanında etkin kullanımını sağlamak ve yerel–bölgesel kalkınmaya en iyi katkıyı sağlamak öncelikli hedefler arasındadır [87].

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Tıp Fakültesi bünyesinde bulunan 40 yataklı Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Merkezinde bir profesör, üç öğretim üyesi ve beş araştırma görevlisi hizmet vermektedir. Jeotermal kaynaklara sahip ülkemizdeki 8 Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Merkezinden biri olan bu merkez, ülkemizdeki şehir hastaneleri de dâhil jeotermal kaynaklara sahip olmayan diğer fizik tedavi kliniklerine göre oldukça avantajlı bir durumdadır. Ancak ciddi talep yoğunluğu nedeniyle hastalar yatarak tedavi olabilmek için yaklaşık 5–6 ay, ayaktan tedavi olabilmek için yaklaşık bir hafta sıra beklemektedir. 7 milyon (%8,8) yaşlı ve 8,2 milyon (%12) engelli nüfusun bulunduğu ülkemizde önümüzdeki yıllarda yaşlı nüfusun hızla artacağı düşünüldüğünde bu talebin gittikçe artması beklenmektedir. Artan talebi karşılayabilmek ve jeotermal kaynaklardan daha etkin bir şekilde yararlanabilmek amacıyla Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi bünyesinde büyük ve entegre bir Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Merkezi kurulmasına yönelik çalışmalar pilot çalışma sürecinden önce başlamıştır. Halen B1 grubu olarak sınıflandırılan 40 yataklı Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Merkezinde 250’si ayaktan, 40’ı yatan hasta olmak üzere günlük yaklaşık 300 hasta kapasitesi mevcut olup, 2019 yılı içinde 70000 seans fizik tedavi ve

rehabilitasyon hizmeti sunulmuştur. 17550 m<sup>2</sup> kapalı alana sahip olan 146 yataklı yeni inşaatı tamamlanan Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Hastanesi, Sağlık Bakanlığı ile birlikte işletilmeye başlandığında A1 grubu hastane olarak sınıflandırılarak, üst düzey Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon hizmetlerini termal tedavi eşliğinde sunacaktır. Bu kompleksin işletmeye açılması ile günlük 350–400 ayaktan ve 146 yatan hasta olmak üzere günlük toplam 550 hastaya hizmet verilmesi ve yıllık seans sayısının 100000 üzerine çıkması beklenmektedir [87].

Jeotermal alanında Pilot Üniversite seçilen Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi hazırladığı Jeotermal Kaynaklı Rehabilitasyon Merkezi (JEOKAREM), Geleneksel Tamamlayıcı Tıp Araştırma Uygulama Merkezi (GETAM) ve Sporcu Sağlığı ve Termal Rehabilitasyonu Merkezi (SAUTER) başlıklı 3 pilot sağlık projesi Termal Kür Klinik Parkı ve Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Merkezi olarak tasarlanan bu kompleks içinde birlikte hayata geçirilecektir (Şekil 18a). Böylece Kırşehir’de termal sağlık ve spor turizminin canlanması ile bölgeye yeni iş sahaları (termal oteller, restoranlar, alışveriş merkezleri, toplu taşıma vb.) sunulabilecektir. Kırşehir’e çekilecek yatırımcılar sayesinde bölgede kümelenme sağlanacak ve bu yolla bölgede istihdam oranlarını arttırmak ve çarpan etkisi yolu ile elde edilen gelir artırılacaktır. Sonuç olarak Kırşehir’de turizm alanında yeni bir sektör oluşturarak çeşitliliği artırmak ve bölgenin ekonomik göstergelerine katma değer oluşturmak nihai hedefler arasındadır [87].

Kapadokya’nın bir parçası olan Kırşehir bölgesine yılda 2,5 milyon turist kültür turizmi için gelmekte ve bunların bir kısmı Kırşehir iline 40 km uzaklıktaki Kapadokya havaalanından bölgeye ulaşmaktadır. Kapadokya bölgesindeki seyahat firmaları ile anlaşarak bölgeyi ziyaret eden turistlerin bir kısmının Kırşehir iline termal sağlık turizmi çerçevesinde getirilmelerini sağlamak mümkün olacaktır. Diğer taraftan Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu (BESYO) ile birlikte çalışarak, öncelikle bölgede daha sonra ulusal/uluslararası düzeyde spor kulüplerine hizmet verilebilecektir. Spor kulüpleri ve federasyonlar ile iletişime geçilerek, tüm spor dallarında spor yaralanması olan bireylerin cerrahi müdahalesi ve/veya Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon hizmetleri jeotermal kaynaklar kullanılarak daha etkin bir şekilde yapılacaktır. Ek olarak sporcuların performans ölçümleri ve danışmanlık hizmetleri gibi farklı talepleri de karşılanacaktır. Bu amaçlarla gelir düzeyi yüksek olan spor camiasının Kırşehir iline gelecek olması bölgede yeni bir turizm sektörünün oluşmasına da vesile olacaktır. Birçok spor dalında ulusal ve uluslararası yarışma, kamp, kurs ve etkinliğine Kırşehir ili olarak ev sahipliği yapma imkânı doğacaktır. Bu durum, Kırşehir’deki turizm merkezlerinin kapasitesinin artması, idman tesislerinin kurulması ve istihdam imkânlarını artmasına yol açacak ve dolaylı olarak bölgesel kalkınmaya önemli bir katkı sağlayacaktır [87].

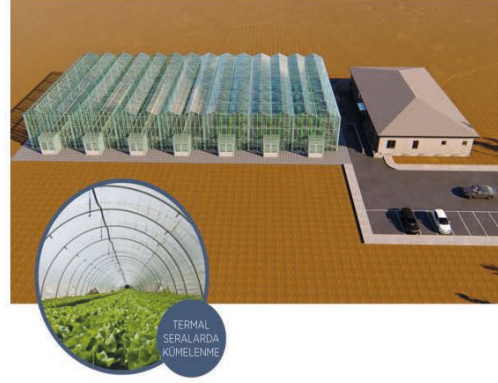
Pilot sağlık projeleri kapsamında Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon ve Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp alanında eğitimler, kurslar, yüksek lisans programları açmak ve akademik araştırmalar yapmak, bunların ışığında bölgesel ve ulusal kalkınmaya destek verecek ürünler elde etmek bir başka beklenen etkidir. Özellikle Fitoterapi alanında kullanılacak tıbbi bitkilerden ilimizde endemik olanlarının tespiti sonrasında üniversitenin çiftliklerinde veya özel sektör eliyle yetiştirilmeye başlanması ve bu alanda markalaşma çalışmaları, Fitoterapi uygulamalarının başlatılması sonrasında bölgesel kalkınmaya katkı sağlayacak yeni ve yenilikçi bir alan olacaktır. Tedavi kalitesindeki artış ile üniversitenin ve ilin ulusal ve uluslararası düzeyde tanınırlığı dolayısıyla da marka değeri artacaktır [87].

Kırşehir’in sahip olduğu zengin jeotermal kaynakların sağlık projelerinin yanı sıra, seracılıkta da kullanımının yaygınlaştırılması önemli bir bölgesel kalkınma enstrümanı olma potansiyeline sahiptir. Çekirdek bir ailenin işletebileceği jeotermal kaynakla ısıtılan örnek bir sera modeli kurarak, Kırşehir’de kırsaldan kente göçü önleyecek alternatif bir istihdam alanı oluşturulabilir. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, bölgesinde termal seracılıkla ilgili danışmanlık hizmeti verme ve Kırşehir’de tarıma dayalı organize seracılık bölgesinin kurulması çalışmalarına öncülük etme misyonunu yüklenmiştir. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi öncülüğünde özel sektörle imzalanan bir protokol çerçevesinde; Karakurt böl-

gesinde Türkiye'nin en büyük termal seralarından birisi hizmete girmiştir (Şekil 18b ve 18c). 477 da olarak planlanan ve ilk etapta 126 da kısmı tamamlanarak Kasım 2019 tarihinde hizmete giren termal serada 150 kişi istihdam edilmiştir. Tesis tamamlandığında 500 kişinin üzerinde istihdam kapasitesine ulaşılacaktır.



(a)



(b)



(c)

*Şekil 18. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi (a) Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Hastanesi ve (b&c) Termal Sera alanları [87]*

Jeotermal kaynaklar bazında dünyada ilk 7 ülke arasında bulunan ülkemizin sahip olduğu bu kaynağı doğru politikalarla değerlendirmesi halinde yerel, bölgesel ve ulusal kalkınmamıza katkısı önemli olacaktır. Bunun için klasik kaplıca tedavisi yerine jeotermal kaynakların dünya ile rekabet edecek şekilde sağlık ve spor alanında üst düzey teknolojik donanım desteğinde, kaplıca kür merkezleri, sosyal, sportif ve kültürel yaşam alanları ile birlikte sunulması süreklilik için kaçınılmazdır. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi yerel değerler ve potansiyelleri derinlemesine inceleyerek işe başlamış ve jeotermal kaynakları sağlık ve spor faaliyetlerinde kullanma alanında ihtisaslaşarak bölgesel kalkınmaya katkı sağlamayı ve öncülük etmeyi projelendirmiştir [87].

## 4. JEOTERMAL ALANINDA ARAŞTIRMA FAALİYETLERİ ve ÇEVRESEL ETKİLER

### 4.1. İzmir Jeotermal Enerji Isıtma Sisteminde Bina Altı Motorlu Debi Kontrol Sistemi

Türkiye’de ilk jeotermal kuyu MTA tarafından İzmir–Balçova’da 1963 yılında termal otelin bahçesinde yapılmıştır. 40 m derinlikte 124°C sıcaklıkta kaynak tespit edilmiş ve artezyen yapılmıştır. 1 hafta sonra kabuklaşmadan dolayı tıkanmıştır [14]. Takip eden dönemde gerekli müdahaleler yapılarak kuyuların yüksek kapasitede ve farklı amaçlarla kullanımına yönelik yatırımlar yapılmış ve birçok alanda öncül araştırmalar İzmir–Balçova’da hayata geçirilmiştir. Bugün bu sahada 600 L/s, 142°C jeotermal su elde edilmektedir [14]. Bu sahada Türkiye’de ilk defa olmak üzere kuyu içi ısı değiştiricisi uygulaması ile termal oteller ve ilk merkezi ısıtma Dokuz Eylül Üniversitesi Kampüsünde 1984 yılından bu yana uygulanmaktadır [14]. 1996’da başlayan Balçova’da yüksek sıcaklıklı kuyu içi pompası kullanılarak toplamda şu anda yaklaşık 37500 konut eşdeğeri (oteller dâhil) şehir ısıtması yapılmaktadır [14]. Şu anda Türkiye’de yine bir ilk olarak İzmir Jeotermal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş.’nin yeni hizmet binası Jeotermal kaynaklı soğutulmaktadır. İzmir–Balçova jeotermal alanı İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. tarafından işletilmektedir. İzmir Jeotermal Enerji’nin pay sahipleri %50 İzmir Valiliği ve %50 İzmir Büyükşehir Belediyesi’dir. İzmir Jeotermal Enerji’nin kronolojik gelişimi Tablo 22’de sunulmaktadır.

Tablo 22. İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş. kronolojisi ([88]’den uyarlanmıştır)

TARİH	AÇIKLAMA
1963	Balçova’da ilk jeotermal sondajın MTA tarafından açılması
1983	Balçova Termal Tesislerinin kuyu içi eşanjörlü sistem ile ısıtılması
1996	İzmir Balçova Merkezi Isıtma Sisteminin işletmeye alınması
2000	Balçova Jeotermal Ltd. şirketinin kurulması
2005	İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş.’nin kurulması
2006	İlk defa ısı sayacı (kalorimetre) kullanımına başlanması
2012	5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında tüm aboneliklerin kalorimetre kullanımına geçirilmesi
2017	Türkiyede ilk defa jeotermal kaynaklı kapalı alan soğutma uygulaması

#### 4.1.1. İzmir Jeotermal Enerji – Mevcut Durum ve Projeksiyon

İzmir Jeotermal Enerji, İzmir Balçova ve Narlıdere’de yaklaşık olarak 83000 kişiye hizmet sağlamakta ve yaklaşık olarak 3,75 milyon m<sup>2</sup> kapalı alan ısıtması yapılmaktadır [88]. İzmir Jeotermal Enerji’nin tesis ve abone bilgileri özet olarak şu şekildedir [88]:

#### Tesisler

- » 13 ısı merkezi
- » 2 pompa istasyonu
- » 2 yeraltı ısı merkezi
- » 13 üretim kuyusu
- » 5 re-enjeksiyon kuyusu
- » 5 gözlem kuyusu
- » yaklaşık toplam 450 km boru sistemi

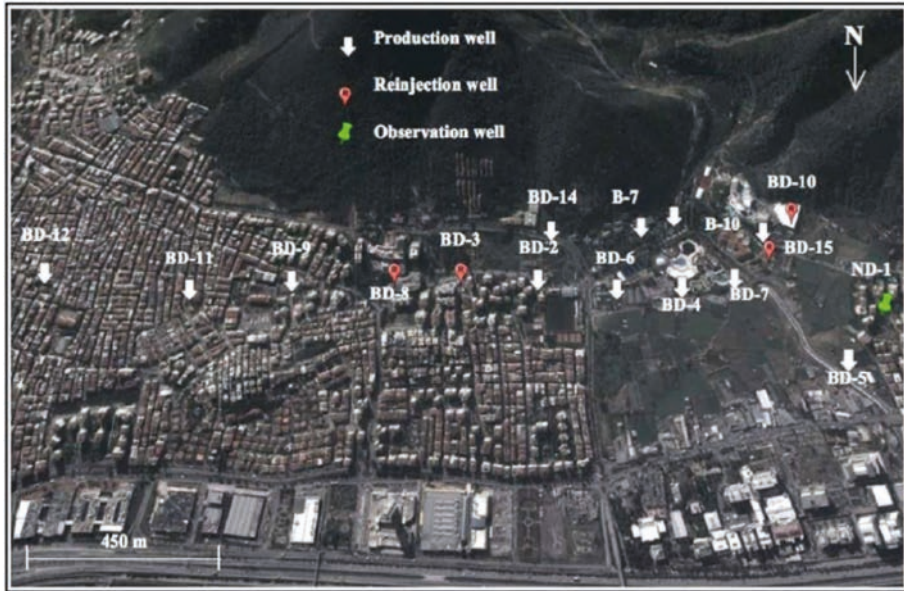
#### Kurumsal Aboneler

- » 1 hastane
- » 2 fakülte
- » 1 üniversite
- » 1 alışveriş merkezi&otel
- » 2 yurt (devlet ve vakıf)
- » 2 termal otel
- » 2 sera (7600 m<sup>2</sup>)
- » 24000 abone (37500 KE)

Şekil 19’da Balçova ve Narlıdere bölgelerinde İzmir Jeotermal Enerji’nin ısıtma sağladığı alanlar belirtilmiştir. Şekil 20’de ise üretim, gözlem ve re-enjeksiyon kuyu konumları harita üzerinde belirtilmiştir. Harita üzerinde belirtilen kuyulara ait detaylı bilgiler Tablo 23’te sunulmaktadır. Tabloda üretim kuyularının açılma tarihleri, derinlikleri ve pik kapasitelerine göre brüt ısıtma kapasiteleri belirtilmektedir. Kuyuların tümünün eş zamanlı çalışması durumunda teorik olarak jeotermal sahadan 2435 m<sup>3</sup>/saat su üretimi elde etmek mümkündür. “B” olarak ifade edilen kuyular sığ, “BD” ile ifade edilenler ise derin kuyuları, “A” ile gösterilenler yenilenmiş kuyuları temsil etmektedir. Maksimum fiili üretim 07.01.2017 tarihinde yaklaşık 2020 m<sup>3</sup>/saat olarak gerçekleşmiştir. Re-enjeksiyon sıcaklığı ise 60°C olarak uygulanmaktadır [88].



Şekil 19. Balçova–Narlıdere bölgesi jeotermal kaynaklı ısıtılan alanlar [88]



Şekil 20. Balçova–Narlıdere jeotermal sahası kuyu pozisyonları [88]

Tablo 23. Balçova – Narlıdere jeotermal sahasındaki üretim kuyuları (2019 yılı) [88]

No	Üretim Kuyusu	Açılma Yılı	Kuyu Derinliği (m)	Sıcaklık (°C)	Maks.Debi (m³/saat)	Kapasite (mWt)	Kuyu Tipi
1	B-1A	2019	125	102	150	7	Sığ
2	B-4A	2019	125	98	105	5	Sığ
3	B-5A	2018	125	96	150	6	Sığ
4	B-7A	2018	125	98	145	6	Sığ
5	B-10A	2013	100	100	170	8	Sığ
6	BD4A	2013	624	133	330	28	Derin
7	BD-5	1999	1100	118	100	7	Derin
8	BD-6A	2013	565	127	350	27	Derin
9	BD-7A	2015	700	120	150	10	Derin
10	BD-9	2003	772	134	360	31	Derin
11	BD-11	2006	716	141	150	14	Derin
12	BD-12	2006	830	140	150	14	Derin
13	BD-14	2007	716	118	125	8	Derin
TOPLAM					2435	173	

Tablo 24’te ise 2019 yılı itibarıyla kullanımda olan re-enjeksiyon kuyularına ait açılma tarihleri, kuyu derinlikleriyle birlikte sıcaklık ve debiler sunulmaktadır. Termal tedavi amaçlı kullanılan jeotermal akışkan dışında, üretilen tüm jeotermal akışkan, enerjisi alındıktan sonra re-enjeksiyon kuyusunda re-enjekt edilmiştir. Balçova – Narlıdere jeotermal sahası özelinde re-enjeksiyon uygulaması tam anlamıyla yapıldığı için çevresel açıdan önemli bir sorun görülmemektedir [88].

Tablo 24. Balçova – Narlıdere jeotermal sahasındaki re-enjeksiyon kuyuları (2019 yılı) [88]

No	Reenjeksiyon Kuyusu	Açılma Yılı	KUYU DERİNLİĞİ (m)	SICAKLIK (°C)	Maks.DEBİ (m³/saat)	Kuyu Tipi	Reenjeksiyon
1	BD-3	1996	750	55-60	200	Derin	Doğal/Pompalı Reenj.
2	BD-8	2002	629	55-60	950	Derin	Doğal Reenjeksiyon
3	BD-10	2004	750	55-60	95	Derin	Doğal/Pompalı Reenj.
4	BD-15	2007	472	55-60	300	Derin	Doğal/Pompalı Reenj.
5	BT-1	2013	765	55-60	750	Derin	Doğal/Pompalı Reenj.
TOPLAM					2295		

Tablo 25’te İzmir Jeotermal Enerji’nin 2014 – 2018 üretim/tüketim istatistikleri detaylı olarak sunulmaktadır. Buna göre 2014 yılında toplam 32685 KE ısıtma sağlanırken 2018 yılı itibarıyla bu sayı 36885’e yükselmiştir [88]. Re-enjeksiyon miktarının ise yıllar içerisinde arttığı ve 2018 yılında %96,1 seviyelerine ulaştığı görülmektedir [88].



Tablo 25. Balçova – Narlıdere jeotermal sahası istatistiksel verileri [88]

İstatiksel Veri	2014	2015	2016	2017	2018
Harcanan Toplam Elektrik Enerjisi (kWh)	3635945	5689614	5796387	5875420	4031353
Tüketilen Toplam Tatlı Su Miktarı (m <sup>3</sup> )	4328	8091	7755	6889	4153
Kuyular Üretim Miktarı (m <sup>3</sup> )	4130457	4771048	4690298	5186799	4464591
Kuyular Üretilen Isı Miktarı(mWt)	296945	342057	327190	344223	302818
Reenjeksiyon Miktarı (m <sup>3</sup> )	3843206	4499099	4456163	4937760	4288500
Reenjeksiyon Yüzdesi	93,0	94,3	95,0	95,2	96,1
Toplam KE Ortalama	32685	33666	34603	35574	36885
Kasım – Nisan Arası Dış Hava Sıcaklığı Ortalaması (°C)	11,3	10,0	10,9	12,3	13,6
Birim Üretilen Isı Enerjisi İçin Tüketilen Elektrik Enerjisi-Spesifik Enerji (kWh/mWht)	12,2	16,6	17,7	17,07	13,31

Sezer [88] tarafından yapılan değerlendirmeye göre İzmir Jeotermal Enerji'nin bölgesel ısıtma sistemi kapasitesi 2026 yılı itibarıyla 43000 KE olması beklenmektedir. Öngörülen bu artım ile bölgesel ısıtma sisteminde kapasite kullanımı yaklaşık %85 olacaktır. Halen ısıtma temin edilen ve artım yapılması planlanan bölgeler Şekil 21 üzerinde kırmızı, mavi ve turuncu renkler ile belirtilmektedir. Aynı şekil üzerindeki yeşil boyalı alanlar ise turizm amaçlı gelişme bölgesi olarak belirlenmiştir. Bu bölgelerde otellerin, termal SPA, kongre merkezleri ve kamuya açık yeşil alanların ve kısıtlı konut alanının kurulması planlanmıştır. Yapılacak sistem iyileştirme faaliyetleri ve genişleme/büyüme durumları neticesinde artacak enerji yükü mevcut sistemle karşılanabilecektir [88]. İzmir Jeotermal Enerji gelecek yıllarda enerjinin daha verimli kullanımına yönelik mevcut kuyulardan bina altlarına kadar olan tüm ekipmanlarda ve uygulamalarda iyileştirmelere ağırlık vererek önemli performans artışları hedeflemektedir [90].

Tablo 26'da jeotermal enerji kaynaklı ısınma yönteminin farklı tip alternatiflere göre maliyet açısından karşılaştırılması sunulmaktadır. Buradaki hesaplar 100 m<sup>2</sup> kapalı alan ısıtması için 8 milyon kcal/yıl ısı tüketimi göz önüne alınarak elde edilmiştir [88]. Birim fiyatlar ise Nisan 2019 tarihine göre değerlendirilmiştir. Burada  $\Delta$  her bir enerji türünün jeotermal enerji ile sayaç esaslı kıyaslanmasını temsil etmektedir. Buna göre birim maliyetin en ekonomik olduğu çözüm jeotermal kaynaklı ısınma teknolojisi olarak öne çıkmaktadır. İzmir ili için düşünüldüğünde maliyet açısından en yakın olan doğal gaz alternatifine kıyasla %33 daha ekonomik olduğu açıktır. Kömür ve elektrik alternatifleri ise sırasıyla %200 ve %470 daha yüksek maliyete sebep olmaktadır [88].



Şekil 21. Balçova– Narludere bölgesi jeotermal kaynaklı ısıtılması planlanan yeni alanlar (Yeşil boyalı alanlar) [88]

Tablo 26. Nisan 2019 enerji birim fiyat kıyaslaması ([88]'den uyarlanmıştır)

Isınma Şekli	Nisan 2019 Yakıt Birim Fiyatları KDV dahil (Kırş(TL)/1000 kcal)	TL/Yıl	En Ucuz Yakıtı Göre Yakıt Maliyeti İndeksi $\Delta$ (%)
Jeotermal Enerji (Kalorimetre esaslı abonelik)	11,7	937	---
İzmir Gaz (8250 kcal/m <sup>2</sup> ve %107 yanma verimliliği)	15,6	1245	33
İstanbul İgdaş (8250 kcal/m <sup>2</sup> ve %107 yanma verimliliği)	17,6	1411	51
Ankara Başkentgaz (8250 kcal/m <sup>2</sup> ve %107 yanma verimliliği)	18,6	1491	59
Kömür (Sibirya kömürü)	36,0	2884	208
Fuel Oil No:4	55,9	4476	378
Elektrik (Konut tarifesi)	66,9	5351	471
LPG (Dökme)	71,8	5742	513
Motorin (VP Diesel)	81,6	6528	597

#### 4.1.2. Bölgesel Isıtma Sistemi Tasarım Unsurları

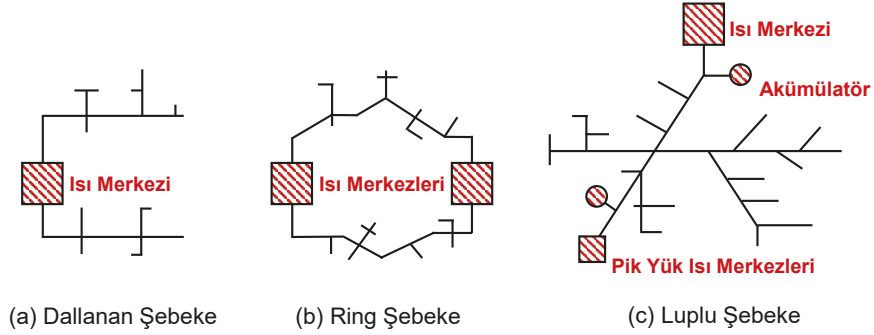
Bölgesel ısıtma/soğutma sistemlerinin tasarımında aşağıdaki temel kararların verilmesi tasarımın temelini oluşturmaktadır [89]:

1. Bölge sınırlarının belirlenmesi,
2. Bölgenin meteorolojik değerlerinin incelenerek, ortalama sıcaklık davranışlarının ve tasarım kriterlerinin tayin edilmesi,
3. Bölgede bulunan ortalama bina karakterlerinin tanımlanması ve bu değerlere göre, ısı kayıp/kazanç hesaplarının yapılması,
4. Bölgesel ısıtma/soğutma sistemi ısı merkezi konumunun seçimi.

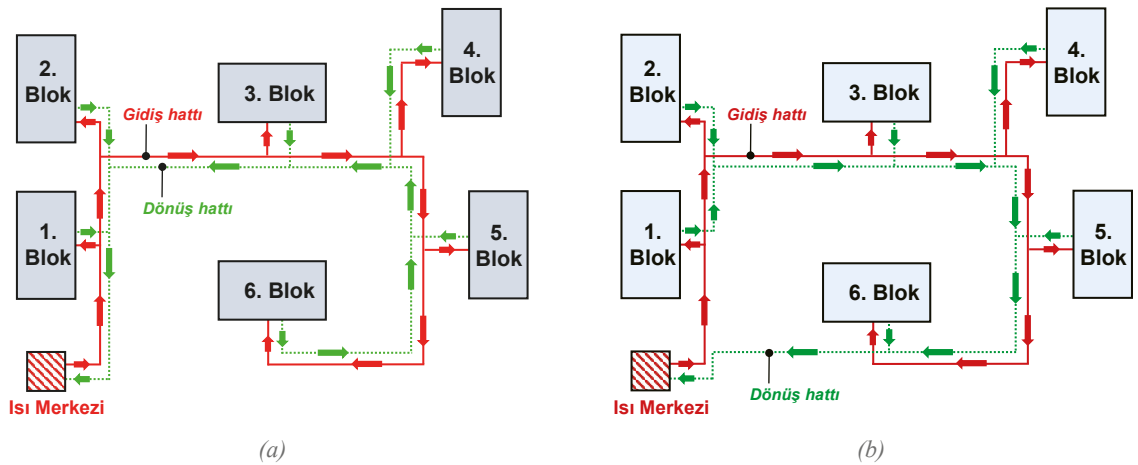
Çizilen bu sınırlar dahilinde sistemin dizayn aşamasında ise aşağıda belirtilen tasarım hususlarının yürütülmesi gerekmektedir [89, 91]:

1. Boru dağıtım ağının yapısının tayini (Bir, iki, üç veya dört borulu alt yapı kararının verilmesi)
  - Bir borulu sistem buhar tesisatı (Yüksek maliyetli bir işletme tekniği olduğundan özel durumlarda kullanılmaktadır),
  - İki borulu sistem sadece bölgesel ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır,
  - Üç ve dört borulu sistemler ise bölgesel ısıtma ve soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır.
2. Şebeke tasarımının tayini
  - Dallanan şebeke
  - Ring şebeke
  - Luplu şebeke
3. Sistemin hidrolik dengelenmesi
  - Düz geri dönüşlü
  - Ters geri dönüş (Tichelmann sistemi veya eşit direnç sistemi)

Şekil 22 ve 23'te sırasıyla farklı tip şebeke yapıları (*dallanan*, *ring* ve *luplu*) ve sistem hidrolik dengeleme tasarımları (*düz* ve *ters geri dönüş*) şematik olarak gösterilmektedir. Tek ve çok merkezli bölgesel ısıtma sistemlerinin detaylı değerlendirmesi Elele ve Çanaklı [91] çalışmasında yer almaktadır.



Şekil 22. Bölgesel ısıtma şebekesi çeşitleri ([91]'den uyarlanmıştır).



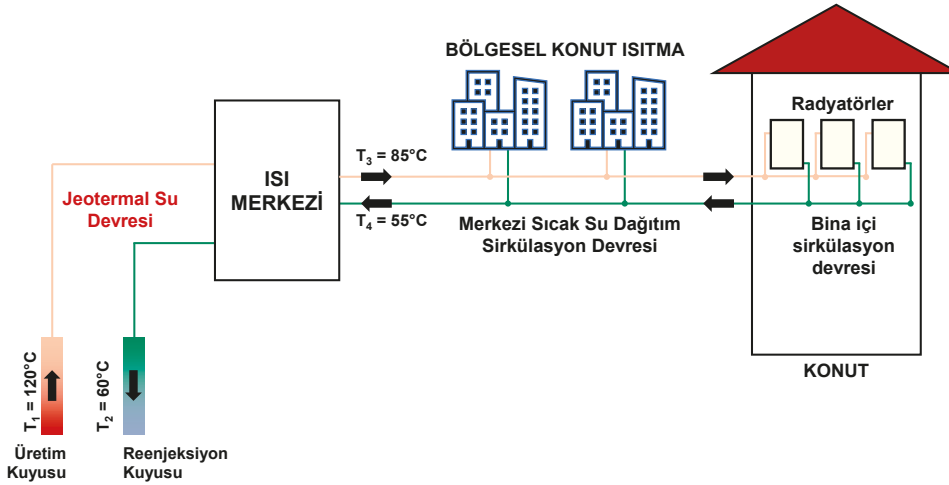
Şekil 23. İki borulu dağıtım sistemleri şematik gösterimleri  
(a) düz geri dönüşlü ve (b) ters geri dönüşlü ([91]'den uyarlanmıştır).

#### 4.1.3. İzmir Jeotermal Bölge Isıtma Sisteminde Bina Altı Debi Kontrol Sistemi Uygulaması

İzmir Jeotermal Bölge Isıtma Sisteminde (JBIS) bölge ısıtma sistemi iki borulu, dallanan şebeke yapısına sahip ve düz geri dönüşlü borulama alt yapısına sahiptir (Şekil 24). Ancak bu borulama sistemi yapısı gereği kullanım noktalarında reglaj problemini ortaya çıkarmaktadır. Merkeze yakın olan binalarda basınç farkı çok yüksekken, sistemin sonunda basınç farkı çok azdır. Bunun önlenmesi ve sistemde debi dağılımının dengeli olması için debi kontrol vanaları kullanılmaktadır. Merkezi jeotermal su devresi, bölgesel konut ısıtma devresi ve bina içi sirkülasyon devrelerine ait tasarım sıcaklıkları Şekil 25 üzerinde belirtilmektedir. Kullanıcıların tüketim alışkanlıklarına bağlı olarak vereceği tepkiler, sistemin enerji yönetimini dinamik şekilde etkilemektedir. Bu konuda sistemde bulunan pompaların frekans konvertörleri ile kumanda edilmesi ve değişken debi ve/veya değişken sıcaklık işletme koşulları kararlarının verilmesi ve uygulanması amacıyla binalarda debi kontrol cihazları kullanılmaktadır.



Şekil 24. İzmir Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi şebekesi [89]



Şekil 25. İzmir Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi tasarım kriterleri ([89]'dan uyarlanmıştır)

İzmir Jeotermal Enerji, kuruluş yılından itibaren bina altlarında reglaj probleminin çözümü ve bina kapasitelerine göre ihtiyaç duyulan debiyi ayarlamak için enerjiden bağımsız debi kontrol vanaları ile sistemde dengelemeyi sağlamıştır [89]. Bu sistemlerin avantajları şu şekilde sıralanabilir [89]:

- Enerjiden bağımsız olmaları,
- Basit mekanik yapıları nedeniyle kolay bakım yapılabilirliği,

- Ucuz olmaları,
- Fark basınç, debi ve sıcaklık kontrolünü birlikte çözümülemesi.

Ancak debi kontrol sistemlerinin belli başlı olumsuz yanları ise şu şekilde belirtilebilir [89]:

- Sistemde debi ve termostat ayarlarının teknik beceri gerektirmesi,
- Sistemin hatalı ayar yapılması durumunda yetersiz debide akışkan geçişinin olması,
- Termostat sisteminin dış etkilere karşı hassas olması,
- Düşük termostat hassasiyeti ve sınırlı debi limitlemesi,
- Sistemin genel yapısının dış müdahalelere açık olması.

Şekil 26'da bina altı enerjiden bağımsız debi kontrol sistemi ve bileşenleri gösterilmektedir. İzmir Jeotermal Enerji bu sistemleri 2014 yılına kadar şebekede bulunan tüm binalarda kullanmış olup, daha iyi bir sistem alt yapısı nasıl oluşturulabilir sorusunun yanıtını aramaya devam etmiştir. 2014 yılında bina altı motorlu vana uygulaması konusunda taslak bir proje ve şartnameleri oluşturularak 1 adet deneme numunesi devreye alınmış ve performans takibi başlatılmıştır. Arkasından, 2015 yılı işletme sezonu başında 22 adet ve çeşitli çaplarda deneme numuneleri sahada devreye alınarak saha test neticeleri gözlemlenmiştir [89]. Sistem çalışma koşulları şu şekildedir [89]:

- Akışkan cinsi : Jeotermal su/şartlandırılmış kapalı devre suyu
- İşletme sıcaklığı : 120°C (*en yüksek*)
- Nominal basınç : 16 bar
- Fark basınç kontrolü : 0,2 bar

Tasarlanan sistem yapısı, bölgesel ısıtma sistemine dahil olan binalarda bina altı ısı değiştiricisi birincil devre dönüş suyu sıcaklığını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Sistemin temel parçaları 6 ana elemandan oluşmaktadır: (i) *Regülatör*, (ii) *Kontrol rölesi*, (iii) *Kontrolör*, (iv) *Vana*, (v) *Vana sürücü motoru* ve (vi) *Sıcaklık ölçüm elemanı*. Kontrolör önceden belirlenen bir değerde dönüş suyu sıcaklığını sabit tutmaya çalışmaktadır. Bu sistemlerin avantaj ve dezavantajları aşağıda listelenmiştir [89]:

*Avantajlar:*

- Fark basınç, debi ve sıcaklık kontrolünü birlikte çözümülemesi,
- Hassas kontrol ve kumanda ( $\pm 1$  L debi kumanda hassasiyeti), istenilen set noktasının sürekli sağlanabilmesi,
- Otomatik kapanma özelliği,
- Dallanan şebeke yapısında doğru debi dağılımı ve fark basınç kontrolü,
- Abonelerin kullanım davranışına göre sistemde enerji tasarrufu imkanı sunması.

*Dezavantajlar:*

- Sistem 24 V (AC voltaj) ile çalışmakta ve saatlik maksimum 10 VA olmak üzere aylık 7 kWh elektrik enerjisi tüketmektedir. Bu nedenle enerjiye bağımlı bir uygulamadır,
- İzolasyon üst sınırının IP55 olması,
- Montaj için emniyetli noktaya ihtiyaç duyması,
- Elektrik ve mekanik sistemlerin birlikte çalışmasından dolayı karmaşık bir yapıya sahip olması,
- Nitelikli servis elemanı ihtiyacı,
- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması.



Şekil 26. Bina altı enerjiden bağımsız debi kontrol sistemi [89]

İzmir Jeotermal Enerji firması elde edilen öncül sonuçlar neticesinde 2016 yılında İzmir Kalkınma Ajansı'na (İZKA) 428 adet bina altı motorlu vana alımı projesi sunmuştur. Önerilen bu proje İZKA tarafından olumlu değerlendirilip %50 hibe desteği alınarak 2016–2017 yılları arasında uygulanmıştır. İlk değerlendirme raporlarında Balçova Isı Merkezi İmbat devresinin 2015–12 ve 2016–12 dönemleri karşılaştırıldığında önemli kazanımlar tespit edilmiştir. 2015–12 döneminde +7°C ortalama dış hava sıcaklığında hat üzerinde 390 m<sup>3</sup>/h hacimsel debideki akışkan 76,9°C gidiş ve 58,8°C dönüş sıcaklıklarıyla 108,4 kW elektriksel güç harcanarak işletilmektedir. 2016–12 döneminde ise +4°C ortalama dış hava sıcaklığında hat üzerinde 292 m<sup>3</sup>/h hacimsel debiye sahip akışkanı gidiş sıcaklığı 80,3°C ve dönüş sıcaklığı 54,1°C olarak işletmek için 81 kW elektriksel güç tüketimi gerekmektedir. 2015 ve 2016 yılları mukayese edildiği zaman, bina altı motorlu vana uygulaması sayesinde elektrik tüketiminin %25,3 düştüğü ve sistemde debi dağılımının daha dengeli olması nedeniyle geçmiş yıllara göre çok daha sorunsuz ve dengeli işletme şartlarının oluşturulduğu belirtilmiştir [89]. Motorlu vana uygulaması öncesi ve sonrası sıcaklık ve debi değerleri ile birlikte tüketim karşılaştırmaları aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır [89]:

- Yapılan uygulamadan sonra, yoğun kullanımın olduğu Aralık, Ocak Şubat ve Mart ayları karşılaştırıldığında, 2016 yılında dönüş sıcaklığı ortalaması 59°C iken 2017 yılında dönüş sıcaklığı ortalaması 53°C olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan 2016 yılında gidiş sıcaklığı ortalaması 70°C iken 2017 yılında gidiş sıcaklığı ortalaması 74°C olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak binalarda ısıl konfor hissi arttırılmıştır.
- Yapılan uygulamadan sonra, yoğun kullanımın olduğu Aralık, Ocak Şubat ve Mart ayları karşılaştırıldığında, 2016 yılında sistemde saatlik debi ortalaması 328 m<sup>3</sup>/h iken 2017 yılında sistemde saatlik debi ortalaması 210 m<sup>3</sup>/h olarak gerçekleşmiştir. Buna göre pompa enerji tüketim maliyetlerinde %37,31 oranında tasarruf edildiği görülmüştür.
- Yapılan uygulamadan sonra, yoğun kullanımın olduğu Aralık ayında 2016/2017 yılları karşılaştırıldığında termal debide %8 tasarruf sağlandığı görülmüştür.

Edinilen tecrübeler neticesinde, 2019 yılında Narlıdere + Yeniköy ısı merkezine bağlı binaların tamamı, Balçova ısı merkezi Kasırğa devresinin tamamı ve Bora devresinin %70'lik bölümü, çeşitli çaplarda 503 adet motorlu debi kontrol vanası ile devreye alınmış olup, devrelerin davranışları gözlemlenmektedir. Tablo 27'de bu iki ısı merkezine ait 2018 ve 2019 yılları Kasım ve Aralık aylarına ait elektrik tüketim değerleri mukayese edilmektedir. Buna göre Narlıdere ısı merkezi elektrik tüketiminde Kasım ve Aralık ayları için sırasıyla %77 ve %71,5 düşüş elde edilmiştir. Balçova ısı merkezinde ise elektrik tüketimi Kasım ayında %32 ve Aralık ayında ise %51,55 oranlarında azalmalar gözlemlenmiştir.

Tablo 27. Isı merkezlerinin 2018/2019 Kasım ve Aralık ayları elektrik tüketimleri ([89]'dan uyarlanmıştır)

Isı Merkezi	Kasım Ayı Elektrik Tüketimi Karşılaştırması (kWh)		Aralık Ayı Elektrik Tüketimi Karşılaştırması (kWh)	
	2018 Kasım	2019 Kasım	2018 Aralık	2019 Aralık
Narlidere	21165	11941	36218	21118
Balçova	89493	67717	123047	81192
<b>Ortalama Hava Sıcaklığı</b>	13,88°C	15,14°C	7,25°C	9,26°C

İzmir Jeotermal Enerji Narlıdere ısı merkezi enerji performansı değerlendirme raporlarında 2018–12 Dönemi 07/01/2019 günü ve 2019–12 Dönemi 06/01/2020 günü için karşılaştırmalar yapılmıştır. Tablo 28'de farklı aboneler için 2020 ve 2019 yıllarına ait debi ve sıcaklık değerleri mukayese edilmektedir. Seçilen iki gün için de ortalama hava sıcaklığının +5,9°C olduğu görülmektedir.

Tablo 28. Çeşitli abonelerin 2018/2019 tüketim davranışları ([89]'dan uyarlanmıştır)

Abone Kodu	2019-12 Ortalama dış ortam sıcaklığı: 5,9°C				2018-12 Ortalama dış ortam sıcaklığı: 5,9°C			
	Tarih	Debi (m <sup>3</sup> /h)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Dönüş Sıcaklığı (°C)	Tarih	Debi (m <sup>3</sup> /h)	Giriş Sıcaklığı (°C)	Dönüş Sıcaklığı (°C)
UAPT0077	6 Ocak 2020 10:04	0	77,5	54,1	7 Ocak 2019 8:54	0,688	81,3	61,1
NAR10148	6 Ocak 2020 10:08	0,71	60,3	49,1	7 Ocak 2019 8:56	0,248	67	59,5
NAR10149	6 Ocak 2020 10:04	1,017	53,9	53,6	7 Ocak 2019 8:55	0,94	67	62,3
NAR11066	6 Ocak 2020 10:07	0	20,8	21,6	7 Ocak 2019 8:55	0,682	67,3	58,7
UAPT0107	6 Ocak 2020 9:39	0,687	86,9	55,1	7 Ocak 2019 8:49	2,225	80,2	67,2
NAR10200	6 Ocak 2020 9:47	0,382	62,3	54,6	7 Ocak 2019 8:45	0,162	74,4	54,6
NAR10155	6 Ocak 2020 9:45	0,374	61,9	56,4	7 Ocak 2019 8:45	0,192	75,6	53,4
NAR10150	6 Ocak 2020 10:41	0,323	62,5	57,7	7 Ocak 2019 9:10	0,177	74,9	60,6
NAR10886	6 Ocak 2020 10:41	0,216	62,2	50,2	7 Ocak 2019 8:44	0,15	74,6	57,4
NAR10151	6 Ocak 2020 11:07	0,354	62,5	50,5	7 Ocak 2019 8:58	0,187	77,2	55,2
NAR10152	6 Ocak 2020 9:39	0,256	62,3	52,9	7 Ocak 2019 8:46	0,127	73,7	48,5
NAR11150	6 Ocak 2020 9:40	0	52,7	34,4	7 Ocak 2019 8:43	0,85	76,6	71,4
NAR10153	6 Ocak 2020 9:45	0	34,3	32	7 Ocak 2019 8:41	0	49,4	33,9
NAR10154	6 Ocak 2020 9:47	0,168	61,4	45,7	7 Ocak 2019 8:45	0,405	75,9	64,7
UAPT0032	6 Ocak 2020 10:21	0,453	86,1	54,1	7 Ocak 2019 8:59	1,391	83,3	66,8
NAR10174	6 Ocak 2020 10:22	0,008	59	26,7	7 Ocak 2019 8:53	0	36,2	39,8
NAR10169	6 Ocak 2020 10:24	0,265	61,7	53,3	7 Ocak 2019 8:53	0,206	74,5	55,5
NAR10170	6 Ocak 2020 10:33	0,224	61,5	47,2	7 Ocak 2019 8:53	0,27	74,8	59,5
NAR10171	6 Ocak 2020 10:21	0,255	61,3	55,4	7 Ocak 2019 8:58	0,319	74,3	69,1
NAR11146	6 Ocak 2020 10:21	0	32,5	34,7	7 Ocak 2019 8:52	0	33,6	38,1
NAR10172	6 Ocak 2020 10:31	0,216	60,3	55,3	7 Ocak 2019 8:53	0,027	74,3	34,5
NAR10173	6 Ocak 2020 10:23	0,108	61,4	51,3	7 Ocak 2019 8:59	0,123	73,9	47,3
NAR11117	6 Ocak 2020 10:20	0,439	61,5	57,5	7 Ocak 2019 8:53	0,66	74,9	71,7
UAPT0116	6 Ocak 2020 13:44	1,096	81,8	55,3	7 Ocak 2019 11:26	1,476	82,7	56,4
NAR10187	6 Ocak 2020 13:45	0,902	59,8	56,7	7 Ocak 2019 11:31	0,261	64,2	53,1
NAR10191	6 Ocak 2020 13:49	1,2	60,7	56,2	7 Ocak 2019 11:31	0,3	64,6	48
NAR10195	6 Ocak 2020 13:39	0,303	60,4	45,5	7 Ocak 2019 10:34	0,549	63,6	51,4
NAR10192	6 Ocak 2020 13:44	0,918	59,5	53,8	7 Ocak 2019 11:06	0,482	64,2	52,4
NAR10522	6 Ocak 2020 13:44	0,099	59,6	42,2	7 Ocak 2019 11:30	0,205	64,7	53,1
NAR10188	6 Ocak 2020 13:47	0,288	60	47,2	7 Ocak 2019 10:35	1,435	64,4	60,1
NAR11060	6 Ocak 2020 13:45	0,175	59,6	54,1	7 Ocak 2019 11:27	0	42,5	40,4
NAR10193	0 Ocak 1900 0:00	0	0	0	0 Ocak 1900 0:00	0	0	0
NAR10194	6 Ocak 2020 13:42	0	27,8	40,1	7 Ocak 2019 11:31	0,314	64,4	55,8
NAR10189	6 Ocak 2020 13:44	1,084	59,6	56,6	7 Ocak 2019 10:35	0,199	64	48
NAR10190	6 Ocak 2020 13:39	0,031	59,9	33,9	7 Ocak 2019 10:21	0,033	64	38,3
NAR11128	6 Ocak 2020 13:39	0,002	54,2	29,3	7 Ocak 2019 10:34	0,221	63,9	57,9
UAPT0007	6 Ocak 2020 13:41	0,099	80,4	54,6	7 Ocak 2019 11:26	0,402	83,3	50,4
NAR10940	6 Ocak 2020 13:44	0,189	70,3	45	7 Ocak 2019 11:26	0,223	69,1	47,3
NAR11022	6 Ocak 2020 13:41	0,269	72,6	42,4	7 Ocak 2019 10:34	0,22	66,7	41,7

2019 ve 2020 yılları için seçilen bu iki güne ait debi ve sıcaklık değerleriyle birlikte güç tüketimleri Tablo 29'da özet olarak sunulmaktadır. 07/01/2019 tarihinde ısı merkezine bağlı hat üzerinde 316,56 m<sup>3</sup>/h debiye sahip akışkanı 79,3°C giriş ve 57,5°C dönüş sıcaklığında 88,7 kW güç harcanarak işletilmiştir. 06/01/2020 tarihinde ise hat üzerinde 242 m<sup>3</sup>/h debide akışkan 82,0°C giriş ve 55,1°C dönüş sıcaklıklarında 68,0 kW elektriksel güç harcanarak ısıtma sağlanmıştır. Bu değerler %30,44 daha düşük elektrik tüketimine işaret etmekte olup, sistemde debi dağılımının dengeli olması nedeniyle geçmiş yıllara göre çok daha sorunsuz ve dengeli işletme şartlarını sağlamıştır. Bunun yanı sıra, ısı merkezinde kullanılan termal debi incelendiğinde 07/01/2019 tarihinde 130 m<sup>3</sup>/h debiye sahip termal akışkan 118°C giriş ve 58°C dönüş sıcaklıklarında kullanılırken, 06/01/2020 tarihinde 115 m<sup>3</sup>/h debiye sahip termal akışkan 112°C giriş ve 56°C çıkış sıcaklıklarında işletilmiştir. Sonuç olarak termal enerjide %17, termal debide ise %12 tasarruf sağlandığı gözlemlenmiştir.

*Tablo 29. 2018/2019 yıllarına ait debi, sıcaklık ve güç tüketim verileri ([89]'dan uyarlanmıştır)*

Dönem	2018-12 Dönemi		2019-12 Dönemi	
Tarih	07.01.2019		06.01.2020	
Ortalama dış ortam sıcaklığı	5,9°C		5,9°C	
Karşılaştırma Parametreleri	Şehir	Termal	Şehir	Termal
Debi (m <sup>3</sup> /h)	316,6	130	242,0	115
Giriş Sıcaklığı (°C)	79,3	118	82,0	112
Dönüş Sıcaklığı (°C)	57,5	58	55,1	56
Güç Tüketimi (kW)	88,7	25,3	68,0	22,4

İzmir Jeotermal Enerji bölge ısıtma sisteminde bulunan 4419 adet bina altı sisteminin 931 adedi motorlu tipte debi kontrol vanaları ile değiştirilmiştir. Önümüzdeki yıllarda yatırım maliyetleri de değerlendirilerek, kademeli olarak kendinden tahrikli debi kontrol vanaları sistemden çıkartılacaktır. Motorlu vanalara geçilmesi durumunda sistemde bina dönüş sıcaklıkları istenilen noktalara tam olarak ayarlanabilme imkanına kavuşacaktır. Sistem dönüş sıcaklığı tasarımı 55°C'nin sürekliliği sağlandığında, mevcut işletme koşullarında %30 tasarruf yapılabilme imkânı sunmakta olup, sisteme sağlayacağı enerji maliyetleri avantajları göz önüne alındığında 13,5 yıllık geri ödeme süresi öngörülmektedir. Sistem dönüş sıcaklığı tasarımı 50°C sürekliliği sağlandığında, mevcut işletme koşullarında %45 tasarruf yapılabilme imkânı sunmakta olup, sisteme sağlayacağı enerji maliyetleri avantajları göz önüne alındığında 10,3 yıllık yatırım geri ödeme süresi öngörülmektedir. Diğer yandan motorlu tipte debi kontrol vanaları kullanıcı konforunu ve enerjinin adil paylaşımını sağlayacaktır. Stabil işletme koşulları temin edilerek sistem üzerinde rahatlatma sağlanabilecektir. Nihai amaç olarak jeotermal sahada yapılan üretimde akışkan üzerindeki baskının azaltılması ve saha sürdürülebilirliğine olumlu bir katkı sağlanması planlanmaktadır. İzmir Jeotermal Enerji işletme müdürü Hasan Çığ Sezer tarafından Enerji Verimliliği Forum ve Fuarı'nda [88] belirtilen öneriler ve şirketin gelecek hedefleri şu şekildedir:

- Önümüzdeki yıllarda ağırlıklı olarak enerjinin verimli kullanımına yönelik mevcut kuyulardan bina altlarına kadar tüm ekipmanlarda verimliliğe yönelik ekipman ve uygulama değişikliklerine ağırlık verilecektir,
- Jeotermal nakil hatlarındaki enerji kayıplarını minimuma indirecek önlemler (sistem otomasyonları) alınarak daha az jeotermal akışkanla daha fazla alanı ısıtmak mümkün kılınmalıdır,
- Ekipman seçiminde enerji verimliliği öncelikli kriter olmalıdır. Yerli ekipman kullanımına öncelik verilmeli ve teşvik edilmelidir,
- İzmir Jeotermal Enerji'ye ait tüm ısı merkezlerinin ve kuyularının SCADA sistemi ile izlemesi tamamlanmış olup, sistemin uzaktan kontrol aşamasına geçişi hızlandırılmalıdır,
- Mevcut tesislerin ve nakil hatlarının ömrünü arttırmaya ve verimli çalışmasını sağlamaya yönelik önlemlere öncelik verilmelidir. Katodik koruma ve optimum kimyasal şartlandırma yapılması tüm sistemi kapsamalıdır,



- Enerji verimliliği kapsamında enerji analizleri ve sistem kontrolü için bina altı sistemlerinin izlemesi yapılmalıdır,
- Tüketicilerin ısıtma sistemleri ve enerji verimliliği konularında yazılı ve görsel kaynaklarla bilgilendirilmesine devam edilmelidir,
- Rezervuarın geliştirilmesi çalışmalarına (derin sondaj, yönlü sondaj vb.) öncelik verilmelidir.

#### 4.2. Atmosfere Salınan Yoğuşmayan Gazlar (Non-Condensable Gases – NCG)

Son zamanlarda ülkemizde jeotermal enerjiye karşı olumsuz algılar geliştiği görülmektedir. Jeotermal enerji çalışmalarında özellikle elektrik üretim projelerinde jeotermal suların re-enjekte edilmeyip çevreye salınarak tatlı sular ve toprağın kirletildiği, salınan yoğuşmayan gazlar (*non-consensable gases* – NCG) ile havanın kirletildiği öne sürülerek jeotermal kaynaklı elektrik üretim projelerine karşı çıkılmaktadır [92]. Jeotermal akışkanlar, buldukları rezervuar koşullarına bağlı olarak kayaktan mineral çözerler ve bazı gazları bünyelerinde çözünmüş olarak tutarlar. Gazların çözünürlük koşulları ortamın sıcaklık, basınç, gaz miktarı ve suyun kimyasal içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Jeotermal su içerisinde çözünmüş olarak bulunan gazlar, basıncın azalması ile açığa çıkar ve bir daha yoğuşmadıkları için atmosfere salınırlar [92].

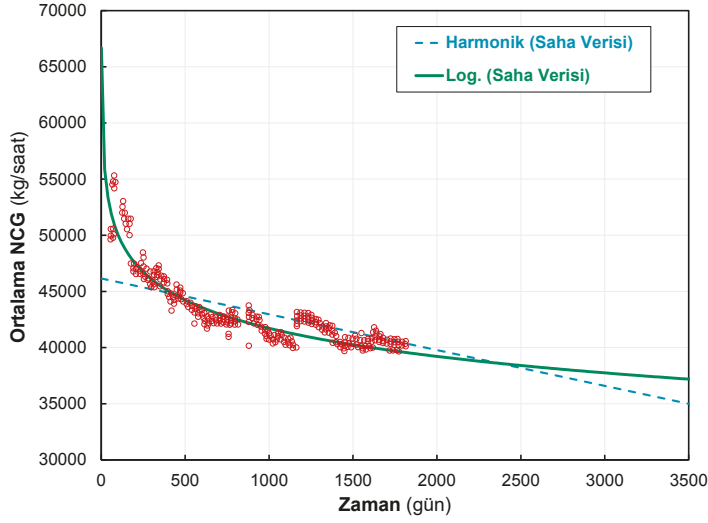
NCG'lerin içeriğinde bakıldığında %98–99 oranında CO<sub>2</sub> bulunmaktadır. Diğer gazlar ise H<sub>2</sub>S ve hidrokarbonlardır. Hidrokarbonlar eser miktarda bulunurken H<sub>2</sub>S oranı %1'den azdır. Karbondioksit, sera gazı etkisi olan, renksiz ve zehirli olmayan bir endüstriyel gazdır. Jeotermal akışkanda çözünmüş olarak bulunan CO<sub>2</sub>, üretim sonrası açığa çıkmakta ve çok büyük bir kısmı atmosfere bırakılmaktadır. H<sub>2</sub>S ise öncelikle çürük yumurta kokusu ile kendini göstermekte ve rahatsızlık yaratmaktadır. Bu gazlara maruz kalınan en yakın nokta olan jeotermal elektrik santrallerinde (JES) bile gaz emisyonları insan ve çevre sağlığı için izin verilen limitlere ulaşmamaktadır [92].

Ülkemizde 2019 sonuna göre kurulu 59 JES ile 1528 MWe elektrik üretim kapasitesine ulaşılmıştır [92]. Kurulu JES'lerin ham petrol karşılığı 7,1 milyon varil iken ekonomik değeri yaklaşık 500 milyon Amerikan dolardır [92]. Mevcut gücün %74'ü Aydın ve Denizli'de kümelenirken, Manisa'da (Salihli-Alaşehir) %24,8'i Çanakkale–Tuzla'da %1'i ve Afyon'da ise %0,2'si bulunmaktadır [92]. Jeotermal kaynaklar, bulunduğu yere özgü bir enerji kaynağıdır. Bu kaynakları yerinde değerlendirmek gerekmektedir. Uzak mesafelere form değiştirmeden taşımak ekonomik olarak uygun değildir [92].

Türkiye'de elektrik üretimi yapan bazı jeotermal santrallerde açığa çıkan NCG miktarları Tablo 30'da sunulmaktadır. Bu değerler tesislerin devreye alındığı ilk günlere ait olup, zamanla rezervuara basılan gazı alınmış suyun yeniden rezervuara basılması nedeniyle NCG miktarı seyrilmektedir. İlerleyen zamanla birlikte tüm rezervuarda düşüm başladığından NCG emisyon miktarı da hızla azalmaktadır. Azalan NCG nedeniyle, jeotermal akışkanın sıkıştırılabilirliği azaldığı için jeotermal rezervuarlarda sıcaklık ve basınç korunsa bile kuyuların üretkenliğinin azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 27).

*Tablo 30. Türkiye'de elektrik üretimi yapan jeotermal santrallerde açığa çıkan NCG miktarları ([92]'den uyarlanmıştır)*

Saha	Kaynak Sıcaklığı (°C)	NCG Miktarı, M <sub>NCG</sub> / M <sub>Brine</sub>
Denizli	230	0,02 – 0,044
Aydın	165 – 230	0,015 – 0,03
Tuzla – Çanakkale	120 – 165	0,005
Salihli-Alaşehir Manisa	160 – 250	0,01 – 0,03

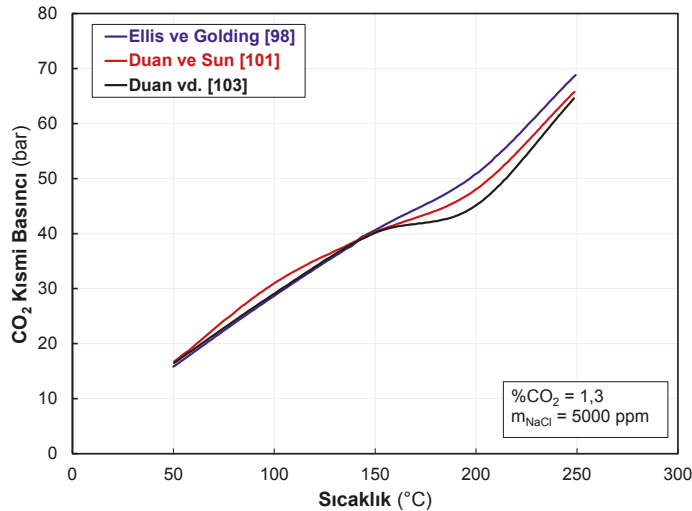


Şekil 27. NCG azalımı (Germencik JES, 47,4 MW) ([93]'ten uyarlanmıştır)

Literatürde birçok karbon tutma (*yakalama*) çalışması bulunmaktadır. Örnek olarak; Bachu [94], derin jeolojik formasyonlarda, Garcia [95] ve Rosenbauer vd. [96] çalışmalarında derin tuzlu akiferlerinde karbondioksitin çözülerek tutulmasını araştırmışlardır. Birçok karbon tutum projesinden farklı olarak Aksoy vd. [97] jeotermal sahalarda açığa çıkan CO<sub>2</sub> rezervuara gaz fazı yerine re-enjekte edilen akışkan içerisinde çözüldükten sonra rezervuara geri basılma durumunu incelemiştir. Böylece sahalardaki sera gazı emisyonunun azaltılması amaçlanmaktadır.

#### 4.2.1. Jeotermal Akışkanlarda CO<sub>2</sub> Çözünürlüğü

CO<sub>2</sub> çözünürlüğü için Ellis ve Golding [98], Sutton [99], Bowers ve Helgeson [100], Duan ve Sun [101], Spycher vd. [102] ve Duan vd. [103] çalışmaları incelenmiştir. Aksoy [92] tarafından yürütülen çalışmada Aydın-Salavatlı jeotermal sahasındaki su ve NCG kompozisyonu esas alınmıştır. Çözünecek CO<sub>2</sub> miktarına karşılık, CO<sub>2</sub>'nin çözünme basıncı hesaplanmış ve Şekil 28'de sunulmuştur. Ellis ve Golding [98], Duan ve Sun [101] ve Duan vd. [103] çalışmaları arasında 150°C'nin altındaki sıcaklıklarda eğriler birbirine çok yakın olduğu gözlemlenirken, 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda Duan vd. [103] eğrisinde diğerlerine göre daha düşük basınçlarda çözüldüğü ve eşitliklerin ayrıştığı gözlenmektedir. Çalışma sıcaklığı 150°C'nin altında yer aldığı (çalışılan jeotermal sahadaki re-enjekte edilecek akışkan sıcaklığı 80°C olduğundan), eşitliklerden herhangi birinin kullanılması fark yaratmamaktadır.



Şekil 28. CO<sub>2</sub>'nin suda çözünürlüğü ([92]'den uyarlanmıştır)

#### 4.2.2. Jeotermal Akışkanlarda CO<sub>2</sub>'nin Çözünme Kinetiği

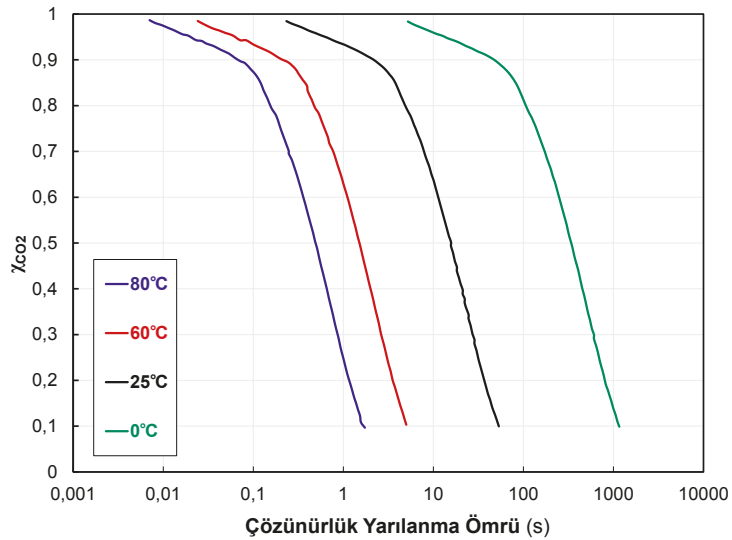
Karbondioksitin suda çözünmesinin ne kadar sürede gerçekleşeceği önemlidir. Çünkü çözünme işleminin uzun süre gerektirmesi durumunda akışkan kuyu içerisinde iki fazlı olarak akacak ve rezervuara iki fazlı olarak girecektir. Çözünmenin yüzeyde gerçekleşmesi ve kuyuya tek faz olarak girmesi durumunda, kuyuda ve rezervuara girişte tek fazlı olacaktır. Çözünme esnasında meydana gelen tepkimeler aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.



Tepkime hız sabiti, sıcaklığa bağlı olarak değişen bir parametredir. Bu nedenle Arrhenius denklemi (Eşitlik 3) kullanılarak, uygun sıcaklıktaki tepkime hız sabiti hesaplanabilmektedir.

$$k_{80} = k_{25} \exp \left( -\frac{E_a}{R} \left[ \frac{1}{353,15} - \frac{1}{298,15} \right] \right) \quad (3)$$

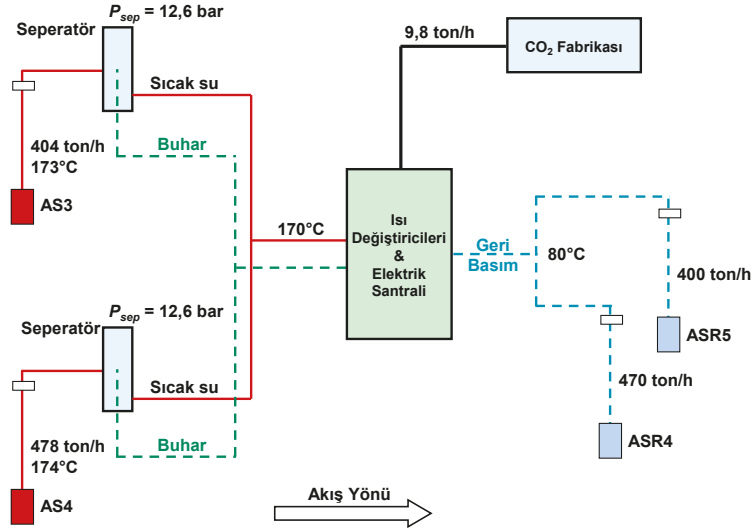
burada  $E_a$  aktivasyon enerjisi ve  $R$  gaz sabitidir. Literatürde belirtilen aktivasyon enerjisi değeri 55 kJ/mol'dür [104]. Aksoy [92] tarafından hazırlanan çalışmada örneklenen sahaya ait re-enjeksiyon suyu sıcaklığı 80°C olduğundan, hız sabiti  $k = 1.37 \text{ s}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Şekil 29'da karbondioksitin suda çözünmesinin farklı sıcaklıklardaki CO<sub>2</sub>'nin çözünürlük yarılanma ömrü değişimleri görülmektedir. Burada kullanılan  $k_{0^\circ\text{C}}$  ve  $k_{25^\circ\text{C}}$  değerleri literatürden alınırken [105],  $k_{60^\circ\text{C}}$  ve  $k_{80^\circ\text{C}}$  değerleri ise Eşitlik (3) yardımıyla elde edilmiştir. Karbondioksitin %99 oranında hidrasyonunun 0,0073 saniyede gerçekleştiği görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere CO<sub>2</sub>'nin suda çözünme işlemi neredeyse anlık gerçekleşecek olup, çözünme basıncının altına düşülmediği sürece karışım tek fazlı (sıvı) olarak hareket etmekte, kuyuya ve rezervuara tek fazlı olarak girmektedir. Bu sonuçlar önerilen işlemin yararlı ve uygulanabilir bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.



Şekil 29. CO<sub>2</sub> çözünürlük yarılanma ömrü ([92]'den uyarlanmıştır)

#### 4.2.3. Jeotermal Akışkan İçerisinde CO<sub>2</sub>'nin Basınçlandırılarak Çözülmesi ve Re-enjeksiyonu

Aksoy [92] Aydın-Salavatlı jeotermal sahası Dora-II santrali kuyularından ve çevresinden alınan su ve gaz örneklerinden yararlanmıştır. Santralin şematik gösterimi ve çalışma koşulları Şekil 30'da belirtilmektedir.



Şekil 30. Santrale ait debi, basınç ve sıcaklık değerleri ([92]'den uyarlanmıştır)

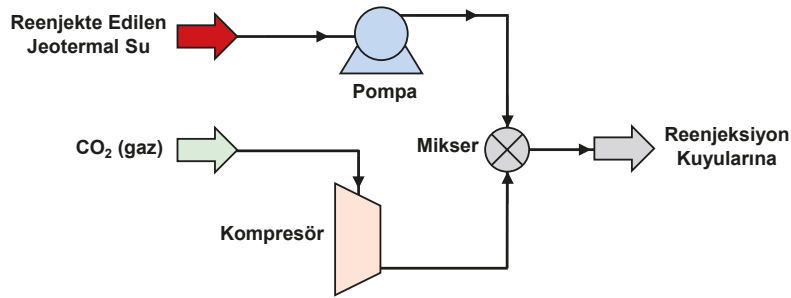
Şekil 30'da üretim kuyularından (AS3 ve AS4) belirli sıcaklık ve debi değerlerinde çıkan akışkan sepratörde basınç düşürülerek, sıcak su ve buhar + NCG olarak ayrılmaktadır. Ayrılan fazlar jeotermal santralin ısı değiştiricilerine gönderilmektedir. Santral çıkışında sıcak su olarak giren akışkan, 75 – 80°C aralığında bir sıcaklıkta ısı değiştiriciden çıkarken, buhar + NCG karışımı, ısı değiştiriciden kondens ve gaz (NCG) olarak ayrılmaktadır. Sıvı fazlar birleştirilerek ASR4 ve ASR5 koduyla gösterilen re-enjeksiyon kuyularına yaklaşık 80°C sıcaklıkta basılmaktadır. 9,8 ton/h debiye sahip CO<sub>2</sub> ise bu tesisten CO<sub>2</sub> fabrikasına gönderilmekte ve gaz veya kuru buz olarak satışa sunulmaktadır. Bu santralde CO<sub>2</sub> fabrikasından dolayı sıfır emisyonlu üretim gerçekleştirilmektedir. Ancak Türkiye'deki karbondioksit gaz pazarının sınırlı olmasından dolayı çoğu jeotermal santralden çıkan CO<sub>2</sub> doğrudan atmosfere salınmaktadır. Çalışmanın devam eden kısmında, 80°C sıcaklıktaki re-enjekte edilecek akışkan içerisinde 9,8 ton/h debiye sahip CO<sub>2</sub>'in çözünerek rezervuara geri basımı incelenmektedir [92].

Dora-II santralindeki 80°C sıcaklığa sahip re-enjeksiyon akışkanında farklı miktarlarda CO<sub>2</sub>'nin basılması sonucu kabarcık basıncı ( $p_f$ ) ve pH değişimleri Tablo 31'de yer almaktadır. Tablo 31'den görülebileceği üzere, çözülecek CO<sub>2</sub> oranı artırıldıkça çözünme basıncı da artmaktadır. Çözünecek gaz ve re-enjekte edilecek su miktarı oranlanarak 3 durum çalışılmıştır: (1) Üretilen CO<sub>2</sub>'nin %0,7'si çözülmek istendiğinde CO<sub>2</sub>-su sisteminin basıncının 13,1 bar ve üzerinde tutulması gerekmektedir. (2) Santralin ürettiği tüm CO<sub>2</sub>'nin (%1,3) basılmak istenmesi durumunda, sistemin basıncı 23,9 bar olmaktadır. (3) Daha az suda daha fazla CO<sub>2</sub> (%2,7) çözülmek istenirse, çözünme basıncı en az 50,5 bar olmaktadır. Çözünen CO<sub>2</sub> miktarı arttıkça, çözelti daha asidik hale gelmektedir. Çözünen CO<sub>2</sub> miktarı %0,7 için pH 5,7 iken, %1,3 için 5,4'e; %2,7 için 5,1'e düşmektedir. Hesaplanan pH değerlerine göre, ortamın asidikleşmesi ile karbonatlı kayaçları az da olsa çözme riski ortaya çıkmaktadır, fakat bu durum jeotermal sistem için herhangi bir sorun teşkil etmemektedir [92].

Tablo 31. Kabarcık basıncı ( $80^{\circ}\text{C}$ ,  $x_m = 0,056 \text{ M}$ ) ([92]'den uyarlanmıştır)

Enjekte edilen akışkan içerisindeki $\text{CO}_2$ miktarı (%)	$p_f$ (bar)	pH
0,7	13,1	5,7
1,3	23,9	5,4
2,7	50,5	5,1

$\text{CO}_2$ 'nin akışkan içerisinde çözülürerek basılması için tasarlanan  $\text{CO}_2$ -su enjeksiyon sistemi Şekil 31'de sunulmaktadır. Bu sistemde, santral çıkışındaki sıcak su (re-enjekte edilen su) ve akım şemasına göre sağında bir pompa yer almaktadır. Pompa girişinde basınç 10 bar, sıcaklık  $80^{\circ}\text{C}$  ve debi 870 ton/h olup, enjekte edilecek akışkan içerisindeki  $\text{CO}_2$  miktarına göre debi değişmektedir. Şekil 31'de görülen gaz kompresörü, 10 bar  $110^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta ve 9,8 ton/h debiye sahip  $\text{CO}_2$ 'yi alarak, çözünme basıncına kadar sıkıştırmaktadır. Sıkıştırılmış  $\text{CO}_2$  ve sıcak su, bir mikserden geçirilerek  $\text{CO}_2$ 'nin homojen olarak karışıp, çözünmesi sağlanacaktır.  $110^{\circ}\text{C}$  giriş sıcaklığındaki  $\text{CO}_2$  sıkıştırıldığında sıcaklığı bir miktar daha artmakta ve bu nedenle re-enjekte edilen suyun sıcaklığının da az bir miktarda artmasına neden olmaktadır [92].



Şekil 31.  $\text{CO}_2$  enjeksiyon sistemi ([92]'den uyarlanmıştır)

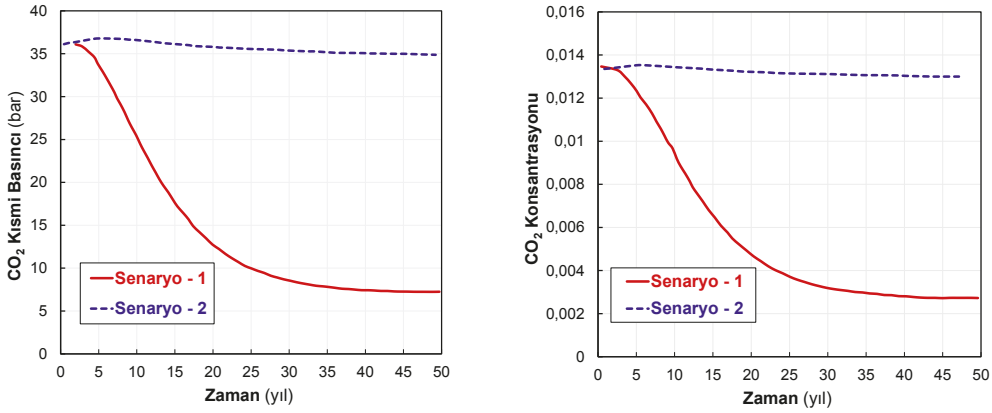
Tasarlanan sistemde pompanın verimi %80, kompresörün verimi ise %75 olarak kabul edilmiştir. Kompresör girişinde  $\text{CO}_2$  %100 gaz fazında olup su buharından arındırılmıştır. Bu nedenle kompresör girişine su tutucu /kurutucu yerleştirilmesi gerekmektedir. Üretilen 9800 kg/h  $\text{CO}_2$ 'nin tamamının 370 ton/h suda çözünmesi durumunda, re-enjekte edilen akışkan içerisinde çözülmesi durumunda elde edilecek konsantrasyon %2,5'tir. Bu durumda, santral çıkışında  $80^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa sahip 370 ton/h jeotermal su ile 9800 kg/h  $\text{CO}_2$   $110^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa sahiptir.  $\text{CO}_2$ 'nin %100 çözünmesi için gereken basınç 50,5 bar'dır. Çözünme sonunda karışımın sıcaklığı  $83,3^{\circ}\text{C}$  olmaktadır. Sistemin 10 bar giriş basıncında ve 337 ton/h debide sıcak suyu, 50,5 bar basınca yükseltebilmek için 545 kW gücünde bir pompaya gereksinimi bulunmaktadır. Ayrıca 9800 kg/h debide 10 bar giriş basıncında  $110^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa sahip  $\text{CO}_2$ 'yi 50,5 bar basınca sıkıştıracak kompresör için güç 498 kW gücündedir. Görülebileceği gibi bu durumda  $\text{CO}_2$  su içerisinde çözünmekte, ancak çözünmek istenen  $\text{CO}_2$  konsantrasyonu arttıkça, kompresör ve pompa güçlerinin de artırılması gerekmektedir [92].

**4.2.4.  $\text{CO}_2$  Çözünerek Re-enjekte Edilen Jeotermal Akışkanın Rezervuardaki Davranışının İncelenmesi**  
Jeotermal akışkan içerisinde  $\text{CO}_2$ 'nin çözünerek re-enjeksiyonunun rezervuardaki davranışını incelemek için aşağıdaki senaryolardan yararlanılmaktadır [92]:

**Senaryo-I:** Üretim kuyularının her birinden 100 kg/s üretim yapılmaktadır. Üretilen akışkan içerisindeki  $\text{CO}_2$ 'nin %1,1'i atmosfere salınmaktadır. Akışkan  $80^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta re-enjekte edilmektedir. Üretilen akışkan %1,1 oranında  $\text{CO}_2$  eksiği ile basılmaktadır. Basılan akışkan içerisinde seperatör çalışma basıncında (12,6 bar) çözülmüş olarak %0,2  $\text{CO}_2$  bulunmaktadır.

**Senaryo-II:** Senaryo-I'deki gibi üretim yapılmakta, ancak açığa çıkan tüm CO<sub>2</sub> re-enjekte edilen akışkan içerisinde çözüldükten sonra rezervuara basılmaktadır. Senaryo-II'de üretim ve re-enjeksiyon kütleli olarak birbirlerine eşit ve CO<sub>2</sub> kaybı da yoktur. Basılan sudaki CO<sub>2</sub> oranı yine %1,3 olmaktadır.

Her iki senaryo ile PetraSim-TOUGH2 [106] simülatörü ile CO<sub>2</sub> enjeksiyonunun etkileri 50 yıl için CO<sub>2</sub>'nin kısmi basıncı ve konsantrasyon değişimleri elde edilmiştir. 50 yıl boyunca meydana gelen basınç ve konsantrasyon değişimleri her iki senaryo için de Şekil 32'de sunulmaktadır. Rezervuarda senaryolara bağlı olarak oluşan CO<sub>2</sub> kısmi basıncı ve konsantrasyonunda ilgi çekici farklılıklar görülmektedir. Senaryo-I koşullarında, yani üretilen %1,3 CO<sub>2</sub>'nin %1,1'in atmosfere bırakılması durumunda, rezervuardaki CO<sub>2</sub> kısmi gaz basıncı ve konsantrasyonu hızla azalmaktadır. CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ilk 10 yılda %1,3'ten %1 civarına düşmektedir. Sonraki yıllarda düşüm devam etmekte ve 20 yılın sonunda %0,5 ve 40 yıl sonra %0,35'e inmektedir. Atmosfere salınan CO<sub>2</sub> kütleli olarak çok düşük bir orana sahip olmasına rağmen CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun ve CO<sub>2</sub> kısmi basıncının hızla düşmesine neden olmakta ve üretimi olumsuz şekilde etkilemektedir [92].



Şekil 32. Senaryo I ve II koşullarında, rezervuardaki CO<sub>2</sub> kısmi basıncının ve konsantrasyonunun zamanla değişimi ([92]'den uyarlanmıştır)

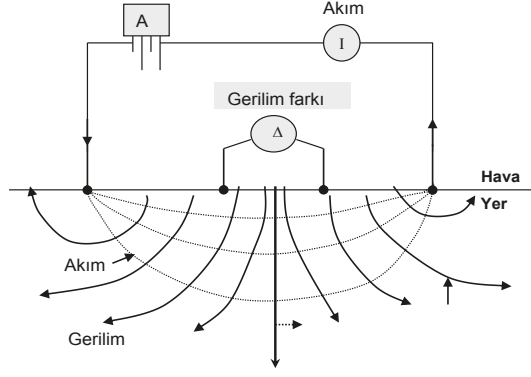
Türkiye'deki jeotermal sahalar yüksek oranlarda CO<sub>2</sub> içermektedir. Jeotermal akışkanda çözülmüş olarak bulunan CO<sub>2</sub> üretim sonrası açığa çıkmakta ve çok büyük bir kısmı atmosfere bırakılmaktadır. Jeotermal elektrik santrallerinin CO<sub>2</sub> salmaları, temiz ve çevreci olarak bilinen jeotermal kaynaklar için mali, teknik ve sosyal riskler oluşturmaktadır. Jeotermal projelerin karbon ticaretinden pay almaları beklenirken, tersine, üzerine karbon cezası ödeme riskine sahip olmaları, projelerin mali tablolarını olumsuz olarak etkilemektedir. Temiz ve çevreci olarak tanınan jeotermal kaynakların yüksek miktarda CO<sub>2</sub> salımına neden olması, jeotermal projelere kamuoyu desteğinin azalmasına neden olmaktadır. Yapılan araştırma ve çalışmalar, üretilen CO<sub>2</sub>'nin rezervuara enjeksiyonunun sadece çevresel ya da mali kaygılarla değil, sürdürülebilir bir üretim için de gerekli olduğunu ortaya koymaktadır. Rezervuara CO<sub>2</sub>'nin enjekte edilmemesi durumunda, zamanla rezervuardaki CO<sub>2</sub> konsantrasyonu düşmekte ve buna bağlı olarak CO<sub>2</sub> kısmi basıncı azalmakta ve sonuç olarak kuyuların üretkenlikleri düşmektedir. CO<sub>2</sub> enjeksiyonu, CO<sub>2</sub> projelerinin ekonomik fizibilitesi üzerinde oldukça etkilidir. Üretilen CO<sub>2</sub>'nin %100 enjeksiyonu düşünüldüğünde, çözünme basıncını en düşüğe tutmanın tek yolu, CO<sub>2</sub>'yi enjekte edilen tüm suda homojen şekilde çözmektir. CO<sub>2</sub> enjeksiyonunun üretimin azalmasını önleyerek yapacağı katkıya ilave olarak, gönüllü pazarındaki karbon fiyatları ile elde edilecek karbon gelirleri de yapılacak yatırım ve işletmeye mali destek sağlayacaktır. Türkiye'nin Kyoto Protokolü ile yükümlülük alacağı sera gazı emisyonu azaltımına destek olabilecek ve bu azaltım ticaretinden gelir sağlanabilecektir [92].

### 4.3. Jeofizik Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemlerle Jeotermal Aramalar

Ülkemiz son yıllarda özellikle Batı Anadolu'da gerçekleştirilen jeotermal enerji aramaları ve yatırımları sayesinde bu alanda Amerika Birleşik Devletleri, Filipinler ve Endonezya'nın ardından dünyada dördüncü sıraya yükselmiştir. Jeotermal enerjiye artan bu ilgi sayesinde yeni kaynaklar tespit edilmektedir. Ülkemiz jeotermal enerji kullanım çeşitliliği anlamında en hızlı büyüyen ülke unvanına sahiptir. Mevcut jeotermal alanların etkin şekilde değerlendirilmesinin yanı sıra potansiyel alanların taranması ve yeni tespit edilen kaynakların sürdürülebilir kullanıma sunulması da önemlidir. Ülkemizdeki jeotermal enerji kaynaklarının yükselen bir trende sahip olmasında 2000'li yılların başlangıcından itibaren yapılan jeofizik araştırmalar sonucunda derin jeotermal sistemlerin keşfedilmesi ve jeotermal üretim amaçlı derin sondajlar yapılarak bu potansiyelin doğal kaynaklarımıza kazandırılması da etkin rol oynamıştır [107]. Elektrik–Elektromanyetik yöntemler ile öz direnç fiziksel parametreleri kullanılarak yer içinin katmaları ve tektonik hatlar belirlenebilmektedir. Jeotermal akışkan, içerisinde bulunduğu rezervuar kayaç ve dolaşım sağladığı jeolojik süreksizlikler içerisinde fiziksel değişimler meydana getirmektedir [108]. Jeolojik yapıların fiziksel özelliklerinde meydana gelen en belirgin değişiklik, yapıların elektrik iletkenliğine karşı oluşturduğu direncin (*öz direnç*) azalmasıdır [107]. Bu sebeple, jeotermal arama faaliyetlerinde Elektrik ve Elektromanyetik (EM) yöntemler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [107, 108]. Bu yöntemler, jeotermal enerji ve hidrojeolojik araştırmaların yanı sıra karadan jeofizik araştırmalarında (kömür aramaları, metalik maden aramaları, endüstriyel hammadde aramaları, mühendislik ve yapısal jeolojik çalışmalar, arkeo–jeofizik çalışmalar ve yer kabuğu araştırmaları) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [108]. Karadan jeofizik araştırmalarında kullanılan elektrik ve elektromanyetik yöntemler şu şekilde sıralanabilir [108]:

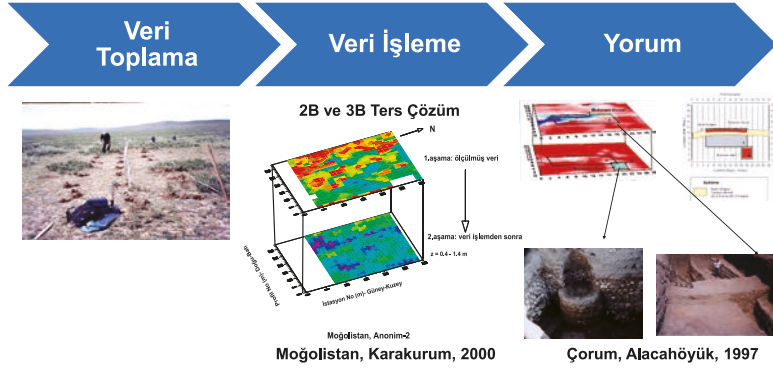
- *Doğru Akım Öz direnç Yöntemleri*
- *Manyetotellürik (MT)*
- *Yapay Kaynaklı Audio Manyetotellürik (CSAMT)*
- *Audio Manyetotellürik (AMT)*
- *Doğal Potansiyel (SP)*
- *Yapay Uçlaşma (IP)*
- *Geçici Elektromanyetik (TEM)*
- *Yer Radarı Yöntemi (GPR)*

Özdirenç (*Resistivity*) yöntemi olarak da bilinen doğru akım öz direnç (DAÖ) yöntemi, arama jeofizikinde kullanılan başlıca jeofizik yöntemlerdendir [109]. Bu yöntemde amaç, yer içinin jeolojik yapısını elektrik özelliğine (*öz direnç*) göre haritalamaktır. Bu yöntem yaygın olarak maden, mineral, jeotermal enerji kaynağı ve petrol aramaları ile hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Özellikle 1980'lerden itibaren, arkeolojik yapıların aranmasında da yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. DAÖ yöntemi; kuramı ve uygulamasının kolay olması, ölçüm aletinin basit olması ve etkili sonuçlar vermesinden dolayı günümüze kadar yaygın olarak kullanılmıştır [109]. DAÖ ölçüm düzeneği basit olarak Şekil 33'te gösterilmektedir. Ölçüm düzeneğinde temel olarak güç kaynağı ile akım ve voltaj farkı ölçüm cihazları bulunmaktadır. Bu yöntemde, alan içerisinde belirlenen iki noktaya çakılan elektrotlar yardımı ile akım uygulanır (A ve B akım elektrotları) ve diğer iki noktada çakılmış elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (M ve N gerilim elektrotları). Sistemde kullanılan elektrotlar genellikle paslanmaz çelikten yapılmıştır. Şekil üzerinde akım eğrileri noktalı çizgilerle gösterilirken gerilim dağılımları bunlara dik ve düz çizgiler olarak belirtilmiştir [109].



Şekil 33. DAÖ ölçüm sistemi ([109]'dan uyarlanmıştır)

Özdirenç yöntemi mühendislik jeofizikinde ve arama jeofizikinde kullanılan en eski yöntemlerdendir. Özdirenç yöntemi kırık çatlak yapıların aranması, yeraltı suyu aramaları, arkeolojik yapı aramaları, maden aramaları ve jeotermal alanların araştırılmasında uzun yıllardır kullanılmaktadır [110]. Yöntemde çoklu elektrot kullanımıyla sahadan veri toplama işlemleri yapıldıktan sonra bu veriler yardımıyla 2B ve 3D çözümler yapılarak kapsamlı değerlendirmeler yapılabilmektedir (Şekil 34). Yöntemin ilk uygulanmaya başladığı dönemlerde sabit dört elektrot ile uzun süren veri toplama işlemleri yapılırken günümüzde çok elektrotun kullanıldığı çok kanallı ölçümler çok daha hızlı şekilde yapılabilmekte ve geniş bölgeler kısa zaman içerisinde detaylı bir şekilde taranabilmektedir [111].



Şekil 34. Doğru akım özdirenç yöntemi adımları ([111]'den uyarlanmıştır)

Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) yöntemi uzun yıllar jeotermal aramalarda yaygın olarak kullanılmış olsa da araştırma derinliğinin yetersiz kalması nedeni ile son yıllarda yerini yapay kaynaklı audio-man-yetotellürik (*Control Source Audiomagnetotelluric*, CSAMT) ve Manyetotellürik (MT) yöntemlerine bırakmıştır [107]. CSAMT yöntemi araştırma derinliği olarak DAÖ yöntemi gibi derin jeotermal aramalar için yetersiz kalmakta ve uygulamadaki zorluğu nedeni ile daha az tercih edilmektedir. Araştırma derinliği, yanal çözünürlüğü, pratik ölçü alımı ve ölçü alımı sırasında çevreye en az zarar vermesi nedeni ile MT yöntem jeotermal arama çalışmalarında en çok tercih edilen jeofizik yöntemdir [107]. MT yöntemi 1950'li yıllardan itibaren tektonik yapıların aranmasında, derin yapıların araştırılmasında, kabuk ve manto arasındaki ilişkinin incelenmesinde kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda MT yöntemi karada ve denizde petrol ve jeotermal alanların araştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. MT yöntemini yeraltının iletkenlik dağılımını belirlemek için kullanılan diğer elektromanyetik (EM) yöntemlerden ayıran en belirgin özelliği, yapay bir kaynaktan yayılan EM dalgalar yerine yer içerisinde yayılan ve sönümlenen doğal EM dalgaların kullanılmasıdır. MT yöntem, doğal kaynaklı EM dalgaların dalga boyları ve yer içindeki kayaçların özdirencine bağlı olarak oldukça geniş bir araştırma derinliği



sunmaktadır. Bu nedenle MT yöntemi yer kabuğu araştırmaları, tektonik araştırmalar, hidrokarbon ve maden aramalarında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. MT yöntem, jeotermal arama çalışmalarında tüm dünyada en yaygın kullanılan EM yöntemidir [107].

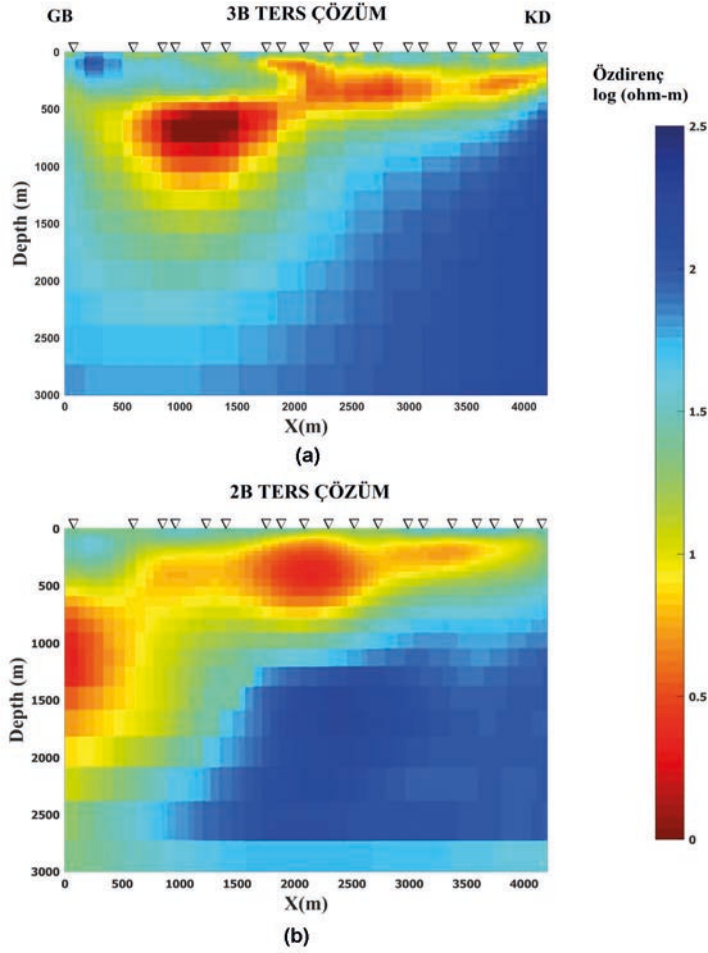
#### 4.3.1. Alaşehir Alt Grabeni MT verilerinin 2B ve 3B Ters Çözümlemesi

Batı Anadolu tektonik yapıları Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve Ege genişlemeli tektonik rejimine bağlı olarak gelişmiştir. Kuzey–güney yönde açılan Ege tektonik rejimi bir dizi horst–graben sisteminde oluşmaktadır. Gediz Grabeni bu genişlemeli tektonik rejimin en büyük yapısal unsurlarından biri olup genişlemenin merkezi konumunda olan Menderes masifi çekirdeğinin kuzey kenarına yerleşmiştir [107]. Gediz Grabeni'nin en batısında Sarıgöl–Salihli arasında yer alan Alaşehir alt grabeni (*sub-basin*) jeotermal açıdan grabenin en aktif bölgesidir [107]. Jeotermal enerji üretimi amacı ile yapılan ilk çalışmalar Alaşehir Grabeninin güney kenarında başlamıştır [107]. Yapılan sondajlarda sıyrılma fayının tortul dolgu altında sığ derinliklerde kesilmesi ve buradaki parçalanmış bölgeden (*cataclastic zone*) üretim yapılması hedeflenmiştir [107]. Takip eden arama ve sondaj çalışmaları da bu bölgeye yoğunlaşmış uzun süre havzanın kuzey kenarında jeotermal potansiyel olmadığı düşüncesi hâkim olmuştur [107]. Erdoğan [112] tarafından gerçekleştirilen çalışmada Alaşehir Havzasının kuzey kenarında gerçekleştirilen MT ölçüleri kullanılmış ve sondaj verileri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda Alaşehir Grabeninin kuzey kenarında kurulan santralde 2015 yılından beri elektrik üretimi yapılmaktadır. Alaşehir grabeninin kuzey kenarında jeotermal kaynak arama amacı ile 2013 yılında yaklaşık 300 noktada MT ve TEM verisi kaydedilmiştir [107]. Çalışma alanı yaklaşık olarak Şekil 35'te görülmektedir. Kuzey horst üzerinde çalışma alanına 12 km uzaklıkta bulunan uzak nokta istasyonu ile eş zamanlı olarak kaydedilen MT verilerine uzak nokta veri işlem (*remote reference processing*) uygulanarak empedans değerleri hesaplanmış sonrasında 2B ve 3B ters çözüm uygulanmıştır [107].

Erdoğan ve Candansayar [112] Güney–Batı, Kuzey–Doğu profiller olarak ölçülen MT verilerine ilk olarak 2B ters çözüm uygulamıştır. Bu kapsamda toplam 29 profil için özdirenç modelleri hesaplanarak sahanın iletkenlik dağılımı ve temel derinliği belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı profil için 3B ters çözüm modelinden özdirenç kesiti alınarak 2B ters çözüm sonucu ile karşılaştırılmış, sondaj numunelerindeki birim sınırları ile uyumlulukları incelenmiştir [107]. 3B ters çözüm sonucu özdirenç modelinden alınan kesit (Şekil 36a) incelendiğinde 2B ters çözüm sonucu ile belirgin farklılıklar göze çarpmaktadır [107]. Özellikle kesitin güney batısında havza dolgusunun kalınlaşması ile daha derinde yer alan iletken anomalinin sınırları 2B ters çözümde tam olarak kestirilemezken bu yapının 3B ters çözümde çözülebildiği görülmektedir. 2B ters çözüm sonucunda derin iletken anomali altında metamorfik temel üst sınırını belirlemek oldukça güçtür. Ancak 3B ters çözüm sonucunda bu sınır rahatlıkla yorumlanabilmektedir [107].

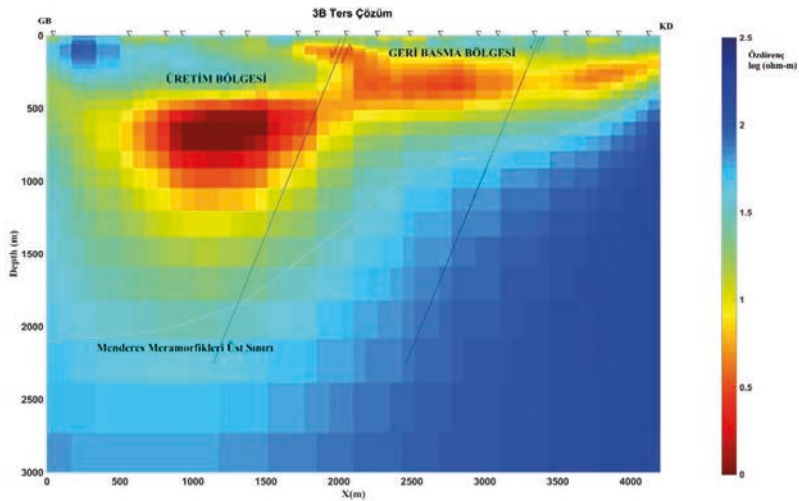


Şekil 35. MT verisi kaydedilen alanın uydu görüntüsü [112]



Şekil 36. (a) 3B ters çözüm sonucu öz direnç kesiti, (b) 2B ters çözüm sonucu öz direnç kesiti [107]

3B ters çözüm modeli üzerinden sahanın yorumlanmasına devam edilerek havzanın ve iletkenlik anomalisinin derinleştiği bölge üretim bölgesi (*production zone*), sığ iletkenlik anomalisinin yer aldığı bölge ise geri basma (*re-injection zone*) olarak seçilmiştir [107]. Şekil 34'te belirtildiği üzere bu iki bölge içerisinde kesit ve haritalarda yorumlanabilen güneye eğimli, yüksek açılı iki normal fay sondajlarda hedef olarak belirlenmiştir [107].

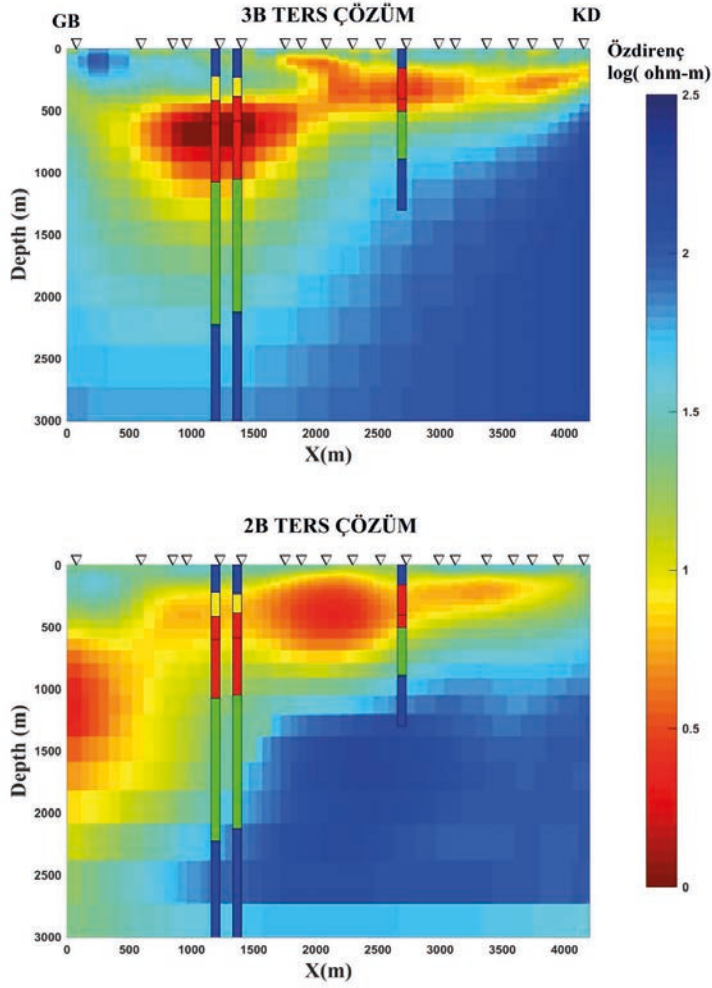


Şekil 37. 3B Ters çözüm modelinden alınan yorumlanmış öz direnç kesiti [107]

Yapılan yorumlar doğrultusunda bölgede 2 adet üretim ve 1 adet geri basma (re-enjeksiyon) kuyusu açılmıştır. Üretim kuyularından yaklaşık 160°C sıcaklık ile saatte ortalama 300 ton üretim yapılmaktadır. Derinliği 1300 m olan geri basma kuyusu ise 130°C sıcaklıkta ve 400 ton/h debide üretim yapmaktadır. Bu kuyuların numunelerinden oluşan log verisi Şekil 38’de 2B ve 3B ters çözüm sonucu öz direnç kesitleri ile birlikte sunulmuştur. 2B ve 3B ters çözüm sonucu öz direnç kesitlerinin kuyu verileri ile birlikte sunulduğu Şekil 38 incelendiğinde, 3B ters çözüm sonucunun stratigrafik sınırlar ile daha uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle düşük öz direnç anomalisi sunan killi-kumlu birimin alt ve üst sınırları 3B ters çözüm ile oldukça iyi belirlenebilmektedir. Üretim bölgesi olan Menderes Metamorfikleri üst sınırı 3B öz direnç kesiti kullanılarak kolaylıkla yorumlanabilmektedir. 2B ters çözüm sonucunda ise iletken anomali sınırları stratigrafik sınırlar ile tam olarak çakışmamakta, metamorfik temel sınırı ise gerçekte olduğundan daha sık bir derinlikte görülmektedir [107].

Erdoğan ve Candansayar [112] ve Erdoğan [107] tarafından gerçekleştirilen bu çalışmalar sonucunda MT verilerinin 2B ters çözümünün hızlı ve kullanışlı bir yöntem olmasına rağmen verilerdeki 3B etkiler nedeni ile gerçek modele yeterince yakınsayamadığı belirtilmiştir. Erdoğan [107] tarafından yapılan değerlendirmeler şu şekildedir:

- 2B ters çözüm sonucu elde edilen modeller yorumlanırken yapıların gerçek yerlerinden kaymış olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır,
- Yer elektrik doğrultuya paralel yönde alınan profil verilerinin 2B ters çözümünün son derece hatalı modeller üretebileceği yapay veri çalışmaları ile gösterilmiştir,
- Yapay MT verilerinin 3B ters çözümünden elde edilen öz direnç modelleri gerçek model ile oldukça benzer sonuçlar ortaya çıkarmıştır,
- 3B ters çözüm temsil edilen Gediz Grabeni öz direnç modelinin iletkenlik anomalilerini, havzanın asimetrik geometrisini ve yüksek öz dirençli temel kaya derinliğini gerçeğe oldukça yakın bir şekilde temsil edebilmektedir,
- Ters çözüm kuramının doğası gereği 3B ters çözüm sonucu modellerde de yapı sınırlarında küçük miktarda kaymalar gözlemlenebilmektedir. O nedenle MT verilerine 3B ters çözüm uygulanırken model ağı ayrıştırmasına ve kullanılan ters çözüm parametrelerine dikkat edilmeli, yorumlama sırasında bu parametreler göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 38. 3B ve 2B ters çözüm sonucu öz direnç kesitleri ve sondaj log verileri [107]

#### 4.4. Jeotermal Enerji Santrallerinde Çevreci ve Verimlilik Artırıcı Teknolojiler

Yenilenebilir enerji sektöründe jeotermal enerji yüksek bir potansiyele sahiptir. Jeotermal enerjinin var olan potansiyelini maksimum faydayla ihtiyaca sunabilmesini desteklemek adına jeotermal enerji santralleri, yeni teknolojiler geliştirilerek ve dünyaya uyum sağlayarak yarına hazırlanmaktadır. Bu teknolojiler özellikle sürdürülebilirlik, çevresel zararların minimize edilmesi ve verimlilik gibi kavramların odağında inovatif yaklaşımlarla şekillendirilmektedir. Raporun bu bölümünde, Zorlu Enerji'nin ülkemizde ve Avrupa'da jeotermal enerji santralleri üzerine sürdürdüğü AR-GE ve inovasyon çalışmalarının detayları paylaşılmış ve bu proje çıktılarının gelecekteki potansiyel etkileri tartışılmıştır [113].

Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği, içinde bulunduğu ekosistemin sürdürülebilirliği ile doğrudan ilişkilidir ve günden güne artan enerji ihtiyacı ve tüketimiyle beraber dünyayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Jeotermal enerji; yüksek enerji potansiyeli, yerli bir kaynak olması ve fosil yakıtlara göre çok daha çevre dostu olması yönleriyle yarının dünyasında tercih edilirliliğini ve görünür-lüğünü arttırmayı gerektirmektedir. Jeotermal enerji potansiyelini daha fazla ortaya koyulabilmesi için bilim insanları ve mühendisler tarafından AR-GE ve inovasyon çalışmalarının yürütülmesi teşvik edilmektedir. Özellikle ülkemiz, jeotermal enerji potansiyeli ile bu alandaki farkındalığı ve tecrübesini değerlendirerek bu çalışmalarda yerini gün geçtikçe arttırmaktadır. Jeotermal enerji santrallerinin daha sürdürülebilir, daha temiz, daha akıllı sistemler olması için Zorlu Enerji'nin sürdürmekte olduğu aktif projeler Tablo 32'de sunulmaktadır.

Tablo 32. Jeotermal enerji alanında Zorlu Enerji'nin dahil olduğu ve yürürlükte olan AR-GE projeleri [113]

Proje	Başlangıç Tarihi	Süre	Fon Tipi
GECO – RES 13	01/10/2018	48 Ay	Ufuk2020
GeoSmart – RES 12	03/06/2019	48 Ay	Ufuk2020
GEOPRO – RES 14	11/04/2019	48 Ay	Ufuk2020
ACT – SUCCEED	25/09/2019	36 Ay	ERA-NET

#### 4.4.1. GECO (Geothermal Emission Control) Projesi

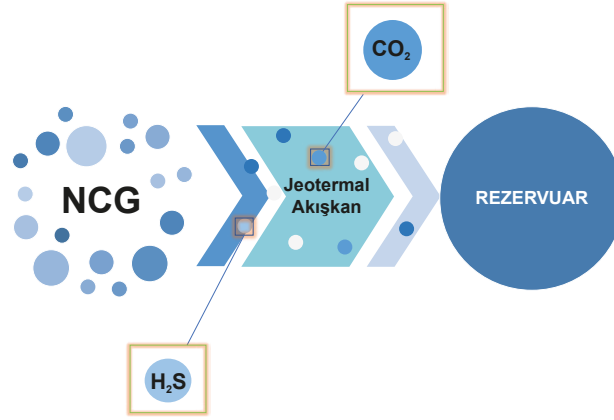
GECO projesi kapsamında, jeotermal rezervuarlarda sürdürülebilirliğin sağlanması ve santrallerin daha çevre dostu olması hedeflenmektedir [113]. GECO projesi Avrupa Komisyonu tarafından Ufuk2020 programı kapsamında hibe almıştır. Proje konsorsiyumu içerisinde Fransa, İngiltere, İzlanda ve Almanya başta olmak üzere farklı ülkelerden toplam 18 ortak bulunmaktadır (Tablo 33). Konsorsiyum içerisinde Türkiye'den ortak katılımcılar olarak Zorlu Enerji ve Ortadoğu Teknik Üniversitesi bulunmaktadır [113].

GECO, jeotermal enerji kaynaklı emisyonların yeniden kullanım ve depolama amacıyla yakalanması ve yoğunlaştırılmış halde rezervuara re-enjekte edilmesi prensibiyle, jeotermal enerji üretiminden kaynaklanan emisyon oluşumunu minimize etmeyi planlamaktadır. Bunun yanı sıra, yakalanan yoğunlaşmayan gazları ticari ürünlere dönüştürüp üçüncü taraflara tedarik ederek, artan gelirler sayesinde maliyetlerin de düşürülmesine destek olacaktır [113].

Tablo 33. GECO proje konsorsiyumu [113]

OR (İzlanda)	STORENGY (Fransa)
ISOR (İzlanda)	CIRCE (İspanya)
CNRS (Fransa)	GM (Hollanda)
GEORG (İzlanda)	<b>ZOREN (Türkiye)</b>
UI (İzlanda)	UKRI (Birleşik Krallık)
IFPEN (Fransa)	<b>ODTÜ (Türkiye)</b>
UNIFI (İtalya)	CNR (İtalya)
GGP (İtalya)	HBO (Almanya)
IFE (Norveç)	AIMEN (İspanya)

GECO'nun emisyon kontrol yaklaşımı, yoğunlaşmayan gazların yakalanarak, jeotermal akışkanda çözülmesi ve rezervuara re-enjekte edilmesinden oluşmaktadır (Şekil 39). Re-enjekte edilen yoğunlaştırılmış gazlar, rezervuar geçirgenliğini artıran ve çözünmüş gazların mineralizasyon yoluyla sabitlenmesini teşvik eden yeraltı kayalarının çözünmesini ve sonuç olarak rezervuar basıncının yükselmesini tetiklemektedir. Bu yaklaşım, yoğunlaşmayan gazların uzun vadeli çevre dostu depolanmasını sağlarken, standart endüstri çözümlerine kıyasla maliyeti önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıntılı ve tutarlı bir izleme programı, jeokimyasal analiz ve kapsamlı modelleme ile GECO projesi, jeolojik olarak çeşitli alanlarda sıvı akışının re-aktivitesini ve sonuçlarını karakterize edecektir. Böylece, re-enjekte edilen akışkanın yüzeyde meydana getireceği reaksiyonları tahmin etme, gaz yakalama ve saflaştırmanın ölçülebilirliğini desteklemek için yeni ve daha doğru modelleme araçları yaratacaktır [113].

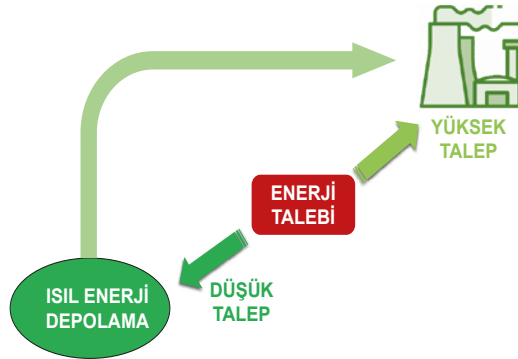


Şekil 39. Emisyon kontrol amacıyla yoğunlaşmayan gazların yakalanması [113]

GECO, jeotermal enerji tesislerinin görünürlüğünü ve kabul edilebilirliğini artırmak ve bu yaklaşımı genellemek için İzlanda, İtalya, Türkiye ve Almanya olmak üzere farklı jeolojik koşullarla karakterize edilen dört farklı Avrupa ülkesinde dört ayrı jeotermal sistemde uygulanacaktır. Türkiye’de bu sistemin uygulanmasının Kızıldere sahasında gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Projenin yüzey üstü ekipmanları için detay dizayn çalışmaları hali hazırda devam etmekte olup sistem testlerinin 2021 yılının Nisan ayında başlaması planlanmaktadır [113].

#### 4.4.2. GeoSmart Projesi

GeoSmart projesi, jeotermal santrallerin esnekliğini ve verimliliğini artırmayı ve jeotermal santralleri daha akıllı sistemler haline getirmeyi amaçlamaktadır (Şekil 40). Bu doğrultuda, ısıl enerji depolarını esnek ORC çözümleriyle birleştirmeyi önererek, düşük talebe sahip dönemlerde depolanan enerjinin talebin daha yüksek olduğu sonraki dönemlerde geri kullanılması planlanmaktadır [113].



Şekil 40. Talebe göre enerji depolama opsiyonlu enerji üretim stratejisi ([113]’ten uyarlanmıştır)

GeoSmart, elektrik piyasasındaki ihtiyaç değişiklikleriyle başa çıkabilen daha esnek sistemlerin entegrasyonu, günlük esneklik için enerji depolama ve güç bloğu yönetimi ve soğuk havalarda artan ısıtma beslemesi için gerektiğinde jeneratör sonrası (atık ısı) brine çıkışlarından daha fazla ısı elde etmek için Kombine Isı ve Güç (CHP) tedariki gibi yenilikleri optimize etmeyi ve ortaya koymayı amaçlamaktadır. Proje kapsamında Belçika Ballmatt ve Zorlu Enerji Kızıldere sahalarında bu teknolojiye uygun ısıl enerji depolama sistemleri kurulacaktır. Ayrıca, Kızıldere sahasında jeotermal akışkanın re-enjeksiyon sıcaklığının düşürülmesi için de sistemler kurulacaktır. Proje için yapılacak test çalışmalarının 2022 yılının Kasım ayında başlaması planlanmaktadır [113].

#### 4.4.3. GEOPRO Projesi

Ufuk2020 tarafından hibe alan bir diğer proje olan GEOPRO, çok yüksek sıcaklıklarda ve yüksek konsantrasyonlara sahip sıvıların ısı ve kütle transfer davranışları hakkında deneysel veriler üretmeyi amaçlamaktadır [113]. Elde edilecek veriler, jeotermal enerji santrallerindeki güç üretim sistemlerinin daha etkin bir şekilde tasarlanmasını ve işletmesini sağlayarak, enerji maliyetini rekabetçi seviyelere düşürecek bir dizi yeni tasarım ve işletim aracında girdi olarak hizmet edecektir [113]. Proje konsorsiyumunda Türkiye'nin yanı sıra, İzlanda, Norveç, Birleşik Krallık, Almanya, İsviçre ve Fransa yer almaktadır [113].

GEOPRO projesi, jeotermal endüstrisinin sistemleri daha etkin bir şekilde keşfetmesini, tasarlamasını ve işletmesini sağlayarak LCOE'yi (*birim elektrik maliyetini*) rekabetçi seviyelere indirecek bir dizi entegre bilgi tabanlı tasarım ve işletim araçları üretecektir [113]. GEOPRO, jeotermal endüstrisinde faydalanılmak üzere; yeni kaynakları daha iyi keşfetme, yatırım kararları için daha güvenli kuyu projeksiyonları gerçekleştirme, işletme koşullarında tasarruflu malzeme kullanımına ve üretim kısıtlarına dair bilgi edinme araçlarını da sunmaktadır [113].

#### 4.4.4. SUCCEED Projesi

SUCCEED (*Synergetic Utilization of CO<sub>2</sub> Storage Coupled with Geothermal Energy Deployment*) CO<sub>2</sub> kullanımı ve depolamaya odaklanmasının yanı sıra, pilot ölçekte CO<sub>2</sub>'nin rezervuara enjekte edildiği jeotermal alanlarda kullanılabilir en gelişmiş ölçüm, izleme ve doğrulama teknolojilerini test etmeyi ve göstermeyi amaçlamaktadır [113]. Birleşik Krallık, İzlanda, İtalya, Hollanda ve Türkiye konsorsiyumunda sürdürülen bu projede ülkemizden Zorlu Enerji ve Ortadoğu Teknik Üniversitesi yer almaktadır. Proje sonucunda etkili bir CCS (*CO<sub>2</sub> Capture and Storage*) / CCUS (*CO<sub>2</sub> Capture, Utilization and Storage*) teknolojisi geliştirerek, gerek iklim değişikliği ile mücadele alanında gerekse ticari alanda sektöre fayda sağlamayı planlamaktadır [113].

Aktif bir jeotermal sahası olan Kızıldere'de mevcut bir re-enjeksiyon kuyusu, üretilen ve tutulan CO<sub>2</sub>'yi süper kritik durumda rezervuara re-enjekte etmek için kullanılacaktır. Buna ek olarak saha; karbonat rezervuar sistemlerindeki, CO<sub>2</sub> re-enjeksiyonunun ve yenilikçi izleme sistemlerinin test edilmesi ve geliştirilmesine fırsatlar sunacaktır. İkinci demo sahası, 2014 yılından bu yana endüstriyel ölçekte CO<sub>2</sub> re-enjeksiyonunun ve bazaltlarda kalıcı mineral depolamanın uygulandığı İzlanda'daki Hellisheidi jeotermal sahasıdır [113].

Proje ayrıca Hellisheidi'deki yerel bir sismik ağdan elde edilen verilerden yararlanacak ve jeotermal alanlarda enjeksiyon kaynaklı sismisite potansiyeli hakkında daha fazla bilgi edinilmesine yardımcı olacaktır. Kızıldere'deki sistemde ise kuyu içerisine indirilecek fiber optik ve mikrosismik sensörler ile CO<sub>2</sub>'nin rezervuar içerisindeki etkileri incelenecektir [113].

#### 4.4.5. Değerlendirme

Jeotermal enerji birçok özelliğinden dolayı gelecek yıllarda daha yaygın kullanıma ulaşacaktır. Bu sebeplerden biri, jeotermal enerji santrallerinin elektrik üretimindeki baz yük rolü olmasıdır. Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklı güç üretiminin yaygınlaştığı bir gelecekte enerji depolama sistemleri kadar jeotermal enerji gibi hem yenilenebilir hem de baz yük etkisi olan santrallerin önemi artacaktır. Bu açıdan GeoSmart projesinde akıllı ve esnek jeotermal enerji santrallerinin şebekeye entegrasyonu konusunda çalışmalar devam etmektedir [113].

Jeotermal enerjiden kaynaklanan emisyonlar, rezervuarın kayaç yapısıyla birebir ilişkilidir. Yoğuşmayan gazlar farklı ülkelerde, farklı rezervuar tiplerine göre farklı içeriklerde olmaktadır. Türkiye bu bakımdan karbonat bazlı rezervuar yapısına sahiptir. Dünyamız için tehlikeli olan emisyonların ana nedeni yakma işlemidir. Jeotermal santrallerden yapılan emisyonlar doğada mevcut durumda bulunan gazlardır. Ancak bu gazların hem çevreye hem de sürdürülebilirliğe oldukça fazla etkisi vardır. Yo-

ğuşmayan gazlar, jeotermal sistemlerde rezervuar basıncını artırarak daha iyi bir üretim performansı sağlamaktadır. GECO ve SUCCEED projelerinde jeotermal enerjiden kaynaklanan emisyonları rezervuara re-enjekt ederek gelecekte sıfır emisyonlu JES'ler için ön çalışmalar gerçekleştirilmektedir [113].

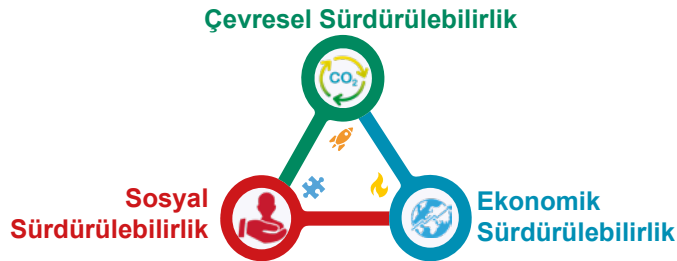
Ülkemizde jeotermal enerji alanında AR-GE çalışmaları henüz istenilen seviyelerde değildir. Ulusal ve uluslararası fonlar bu konuda birçok destek ve teşvik sağlamaktadır. Bu durumda hem üniversiteler hem de sektör olarak bu alana daha fazla önem vererek ve yatırım sağlayarak, mevcut kaynaklarımızla Türkiye'nin AR-GE konusunda rekabetçi bir konuma gelmesi kaçınılmaz olacaktır [113].

#### 4.5. Sürdürülebilirlik ve Jeotermal Enerji Kaynaklı Çoklu Üretim Sistemleri

Modern toplumda uluslararası politika, ekonomi ve çevresel unsurlar açısından enerji kritik öneme sahiptir. Sanayi devriminden itibaren fosil yakıt odaklı gelişen enerji sektörü, insan sağlığı, çevre ve sürdürülebilirlik gibi öğelerin önem kazanmasıyla birlikte daha temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim bir zorunluluk olmuştur. Jeotermal enerji, insanlık tarihi kadar eski olup dünyanın çok farklı yerlerinde medeniyetin gelişimiyle birlikte sıcak su kaynakları çeşitli amaçlarla kullanılmıştır. Jeotermal enerji basit olarak yer kürenin sahip olduğu ısı enerjisidir. Dünyanın yer kabuğundan itibaren 10 km derinliğe kadar olan bir bölgenin sahip olduğu toplam enerji miktarı  $1,3 \times 10^7$  J olarak belirtilmektedir [114]. Yerkürede depolanmış bu ısı enerjisi  $3 \times 10^{17}$  varil petrole eşdeğerdir. Günlük küresel enerji tüketiminin 100 milyon varil petrol eşdeğeri olduğu düşünüldüğünde, bu devasa enerji potansiyeli teorik olarak insanlığın 6 milyon yıl boyunca tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecek ölçekte [114]. Jeotermal enerji sahip olduğu bu yüksek potansiyel ile insanlığın karşı karşıya kaldığı enerji ve çevre problemlerine çözüm sağlayabilecektir. Jeotermal kaynaklardan elde edilecek çevresel ve ekonomik faydaların en üst seviyeye çıkartılabilmesi için aşağıda belirtilen hususlar eş güdümlü olarak ele alınmalı ve planlanmalıdır [114]:

- *Araştırma ve geliştirme,*
- *Yenilikçilik ve ticarileşme,*
- *Teknolojik değerlendirme,*
- *Standart geliştirme,*
- *Teknoloji transferi.*

Sürdürülebilir gelişme, çevresel ve sosyal yönlerden olumsuz etki yaratmayan ve kendi içinde sürdürülebilir temiz enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu kılmaktadır. Fosil yakıtlar veya nükleer enerji kaynakları sonlu olduklarından bu tanıma tam olarak uymamaktadırlar. Diğer taraftan, jeotermal, güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları uzun dönemli süreçler göz önüne alındığında kendi içlerinde sürdürülebilir bir yapıya sahiptirler. Sürdürülebilirlik sadece enerji sektörünü ilgilendiren bir durum olmanın çok ötesinde, ulusal ve yerel tüm yönetim kademelerinin tüm unsurları tarafından eş güdümlü planlanması gereken bir olgudur. Enerjinin sürdürülebilirliği çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin teminatı olarak görülmelidir (Şekil 41).



Şekil 41. Sürdürülebilir enerjinin sosyal, çevresel ve ekonomik etkileşimleri ([113]'ten uyarlanmıştır)

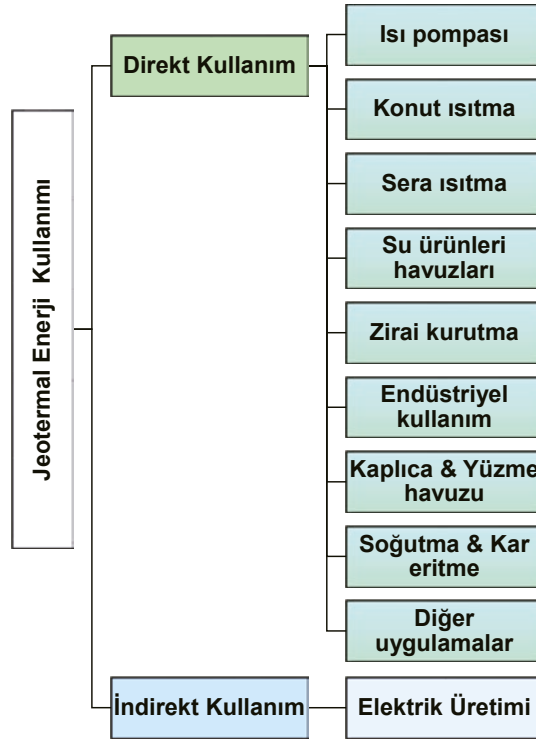


Sürdürülebilir bir kalkınma elde edebilmek için aşağıda listelenen hususların gerçekleştirilmesi önerilmektedir [114]:

- Toplumsal farkındalığın oluşturulması,
- Çevresel konularda eğitim ve öğretim verilmesi,
- Uygun enerji ve ekserji stratejilerinin belirlenmesi,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve temiz enerji teknolojilerinin etkin kullanımı,
- Etkin finansman desteğinin sağlanması,
- Sürekli izleme ve değerlendirme yaklaşımı

Jeotermal kaynakların etkin kullanımı sürdürülebilir kalkınmada önemli bir rol üstlenmektedir. Hem kırsal hem de kentsel bölgelerde çevre dostu enerji tüketimine imkan veren jeotermal enerji tüketiminin etkin ve bilinçli bir politika ile her alanda kullanılmasıyla hem çevresel hem de ekonomik olarak önemli avantajlar elde edilebilmektedir. Burada önemli olan jeotermal enerjinin çok yönlü gelişmesinin önünü tıkayan engellerin kanun koyucular tarafından kaldırılmasıdır. Belediyeler, kamu kuruluşları ve ilgili bakanlıklar jeotermal enerjinin bölge halkına ve ekonomisine sağlayacağı avantajları en uygun şekilde değerlendirmeye yönelik yol haritalarını eş güdümlü hazırlaması önem arz etmektedir. Diğer taraftan, jeotermal kaynakların etkin kullanımına yönelik araştırma, geliştirme ve ticarileşme projeleri ilgili kurumlar tarafından desteklenmelidir.

Jeotermal kaynağın sıcaklığına göre jeotermal enerjinin kullanımı çok geniş bir spektrumda farklılaşabilmektedir. Şekil 42’de direkt ve indirekt kullanım alternatifleri şematik olarak sunulmaktadır. Jeotermal kaynak sıcaklığına göre direkt kullanım uygulamaları ise Tablo 34’te listelenmiştir [114].

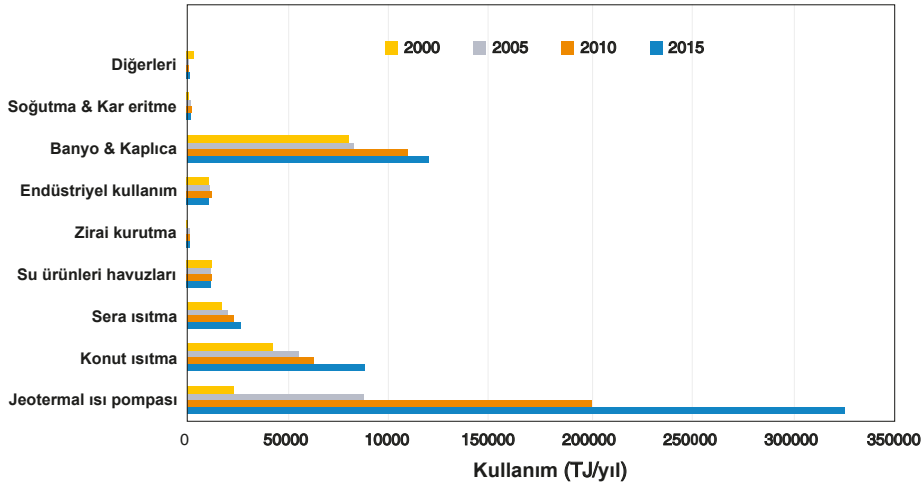


Şekil 42. Jeotermal enerji kaynağının direkt ve indirekt kullanım alanları ([114]’ten uyarlanmıştır)

Tablo 34. Jeotermal kaynak sıcaklığına göre uygulama alanları ([114]'ten uyarlanmıştır)

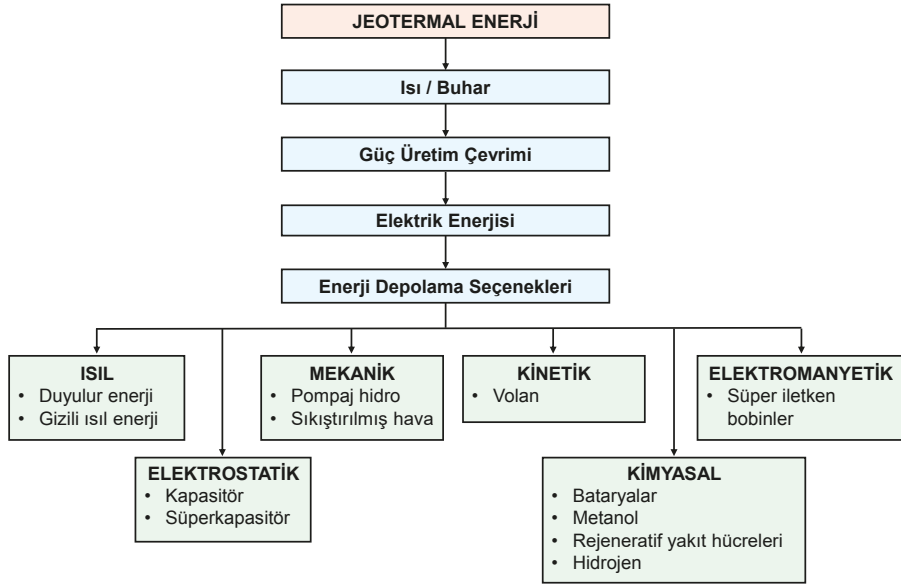
20°C – 50°C	50°C – 80°C	80°C – 120°C	120°C – 160°C	160°C – 220°C	> 220°C
<ul style="list-style-type: none"> <li>Balık yetiştiriciliği</li> <li>Yüzme havuzu</li> <li>Kaplıca</li> <li>Fermantasyon</li> <li>Su ürünleri yetiştiriciliği</li> <li>Toprak ısıtması</li> <li>Mantar yetiştiriciliği</li> <li>Isı pompaları</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konut ısıtma</li> <li>Hava kurutma</li> <li>Sera ısıtma</li> <li>Tahıl kurutma</li> <li>Meyve kurutma</li> <li>Sebze kurutma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Temiz su eldesi</li> <li>Gıda kurutma</li> <li>Deri ve kürk işleme</li> <li>Tekstil ürünlerinin yıkama ve boyama işlemleri</li> <li>Kağıt işleme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flaş çevrimler</li> <li>Konut soğutma</li> <li>Direkt buhar eldesi</li> <li>Damıtma yoluyla temiz su eldesi</li> <li>Şeker rafine işleminde buharlaşma</li> <li>Endüstriyel iklimlendirme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>İkili (binary) çevrimler</li> <li>Kalina çevrimi</li> <li>Yüksek kapasitede çiftlik ürünlerinin kurutulması</li> <li>Gıda ürünlerinin konservelenmesi</li> <li>Amonyaklı absorpsiyon soğutma</li> <li>Kimyasal üretim</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hidrojen üretimi</li> <li>Alternatif yakıt üretimi</li> <li>Konvansiyonel güç üretimi</li> <li>Kojenerasyon</li> </ul>

Jeotermal kaynaklı uygulamaların 2000 – 2015 yılları arasındaki kapasite değişimleri Şekil 43'te karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Tüm diğer uygulamalar içerisinde jeotermal kaynaklı ısı pompası uygulaması dünya genelinde jeotermal enerjinin en yüksek kapasitede kullanıldığı alan olarak öne çıkmaktadır. 2000 yılında konut veya sera ısıtmasıyla birlikte jeotermal ısı pompası birbirlerine yakın kullanım kapasitelerine sahipken, jeotermal ısı pompası kullanımı son 15 yıl içerisinde hızlı bir artış trendine girerek yıllık enerji kullanımını 300000 TJ/yıl seviyesinin üzerine çıkarmıştır [114].

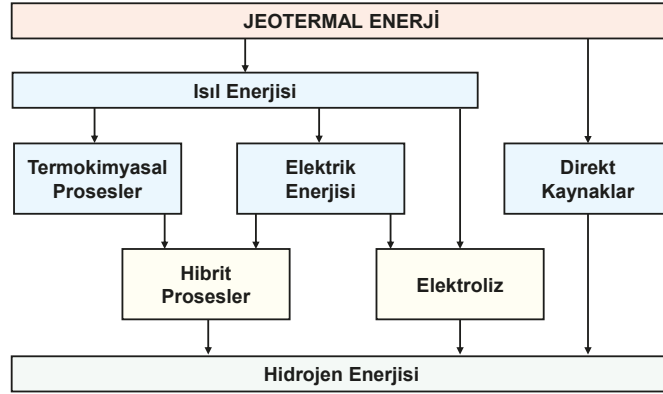


Şekil 43. Farklı tip jeotermal uygulamalarının yıllar içinde kapasite değişimi ([114]'ten uyarlanmıştır)

Jeotermal enerji kaynaklı güç üretiminde arz/talep arasındaki dengenin sağlanması veya belirli bölgelerde üretilen enerjinin farklı amaçlarla transferinin sağlanması için enerjinin farklı depolama alternatifleriyle değerlendirilmesi gerekmektedir. Kimyasal, mekanik, elektriksel veya ısıl enerji depolama alternatifleri jeotermal sistemlere entegre edilerek hem şebekede yaşanan ani yük değişimlerinden kaynaklanan dalgalanmalar sönmülmekte hem de farklı sektörlerde kullanıma yönelik enerji kullanım çeşitliliği oluşturulabilmektedir (Şekil 44). Örnek olarak uygun kimyasal dönüşümler yapılarak jeotermal kaynaktan elde edilen elektrik veya ısıl enerji kullanılarak hidrojen ve metanol gibi kimyasal yakıtlar elde edilerek farklı bölgelerde/ sektörlerde kullanılmak üzere depolanabilmektedir [114]. Şekil 45'te jeotermal kaynaklı hidrojen üretim prosesi konsept akış şeması gösterilmektedir. Burada jeotermal enerji direkt olarak hidrojen üretim sürecinde kullanılabileceği gibi farklı proseslerle birleştirilerek termokimyasal veya elektroliz işlemleriyle hidrojen elde edilebilmektedir.

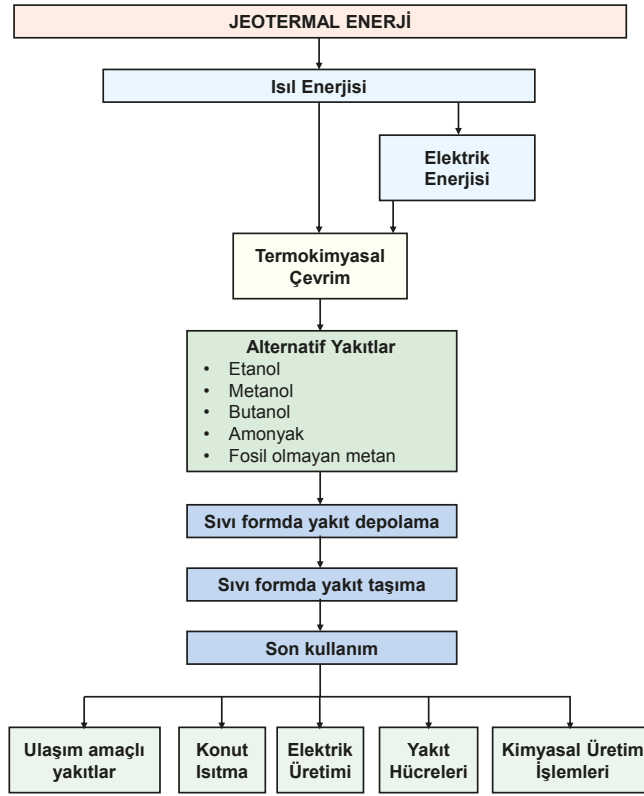


Şekil 44. Jeotermal kaynaklı enerji depolama seçenekleri ([114]’ten uyarlanmıştır)



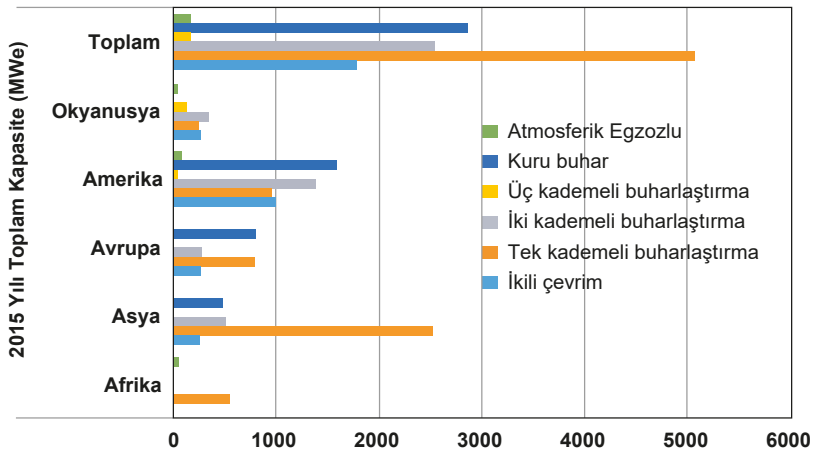
Şekil 45. Jeotermal kaynaklı hidrojen üretimi temel aşamaları ([114]’ten uyarlanmıştır)

Daha önceki bölümlerde detaylı tartışıldığı üzere ülkemizde jeotermal enerji kaynakları yoğun olarak Ege bölgesinin batı kısımlarında bulunmakta ve etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Jeotermal kaynaklı enerji üretiminin ülke genelinde kullanımının sağlanmasında en etkin yöntemlerden biri uygun ve ekonomik termo-kimyasal proseslerin jeotermal tesislerde kurulması ve böylece alternatif yakıtların üretilmesidir. Etanol, metanol, propan veya amonyum gibi ulaşım, endüstriyel üretim veya evsel ısıtma gibi farklı sektörlerde kullanılan yakıtlar bu tesislerde üretilmekte ve sıvı formda depolanarak taşınabilir hale getirilmektedir. Şekil 46’da jeotermal kaynaklı enerjinin kimyasal yakıt dönüşümü, depolanması, taşınması ve farklı sektörlerde yeniden kullanımı akış şeması üzerinde gösterilmiştir.

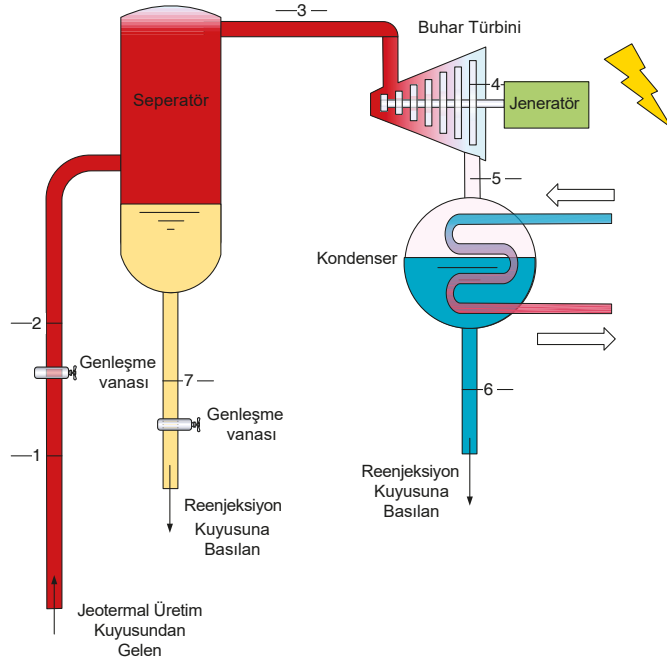


Şekil 46. Jeotermal kaynaklı sentetik yakıt üretimi ve kullanımı ([114]’ten uyarlanmıştır)

Jeotermal enerji kaynaklı güç üretiminde kullanılan farklı çevrim teknolojilerinin 2015 yılına ait kurulu kapasiteleri Şekil 47’de sunulmaktadır. Buna göre tek kademe buharlaştırma (*single flash*), çift kademe buharlaştırma (*double flash*), kuru buhar (*dry steam*) ve ikili çevrim (*binary*) uygulamaları öne çıkmaktadır. Atmosferik egzozlu (*back pressure*) ve üç kademe buharlaştırmalı (*triple flash*) çevrimler ise nispeten düşük kapasitelerde kullanılmaktadır. Şekil 48’de tek kademe buharlaştırmalı jeotermal güç üretim çevrimi şematik olarak gösterilmektedir. Buharlaştırmalı (*flash*) sistemlerde jeotermal akışkan basıncı genleşme vanasında sabit entalpide düşürülmektedir. Çift faz olarak seperatöre giren jeotermal akışkan burada yoğunluk farkıyla sıvı ve gaz fazlarına ayrıklaştırılmaktadır. Buhar güç üretmek üzere türbine gönderilirken, sıvı akışkan re-enjeksiyon kuyusuna basılmaktadır.

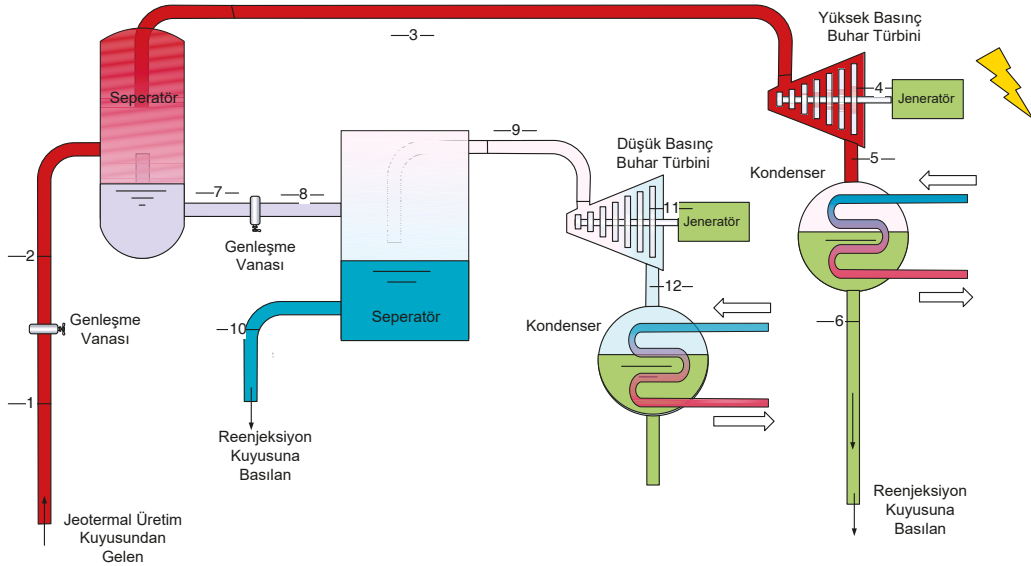


Şekil 47. Jeotermal kaynaklı güç üretiminde kullanılan çevrim çeşitleri ve 2015 yılı kapasiteleri ([114]’ten uyarlanmıştır)



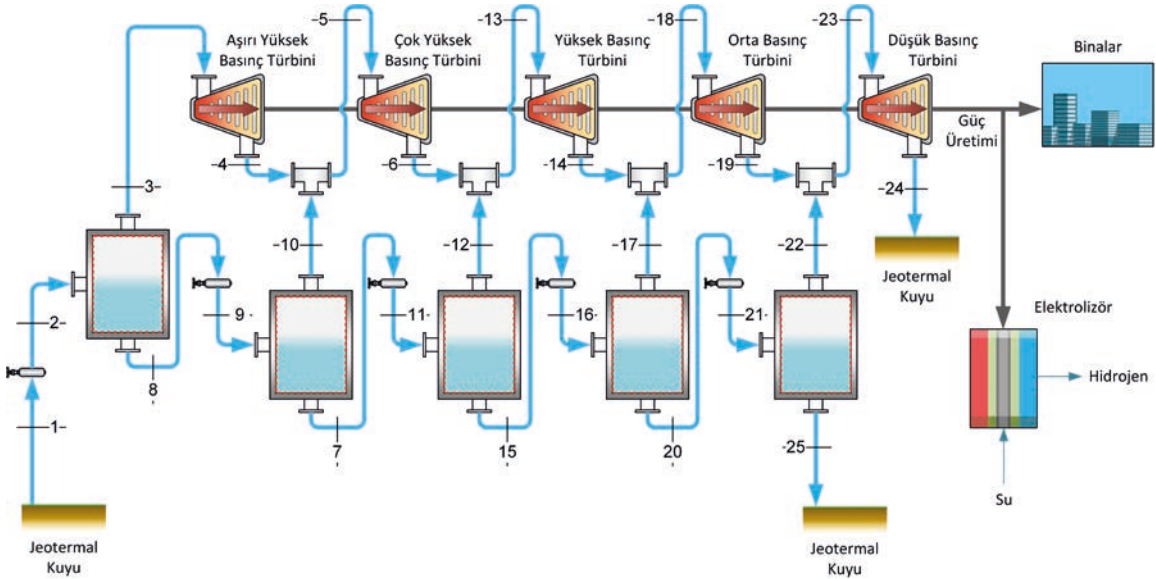
Şekil 48. Tek kademe buharlaştırmalı (single flash) jeotermal çevrim ([114]’ten uyarlanmıştır)

Çift kademe buharlaştırmalı (double flash) jeotermal çevrim Şekil 49’da gösterilmektedir. Burada seperatörden ayrılan sıvı akışkan tekrar bir genişleme vanasından geçirilerek basıncı ikinci kez düşürülmekte ve bu işlem sonrası ikinci bir seperatöre giren karışımdan buhar ayrılarak düşük basınç türbininden güç üretilmektedir. İki kademeli flaş yöntemiyle re-enjeksiyon kuyusuna gönderilecek yüksek güç üretim potansiyeline sahip jeotermal akışkandan ilave güç elde ederek sistemin toplam verimi artırılmaktadır.



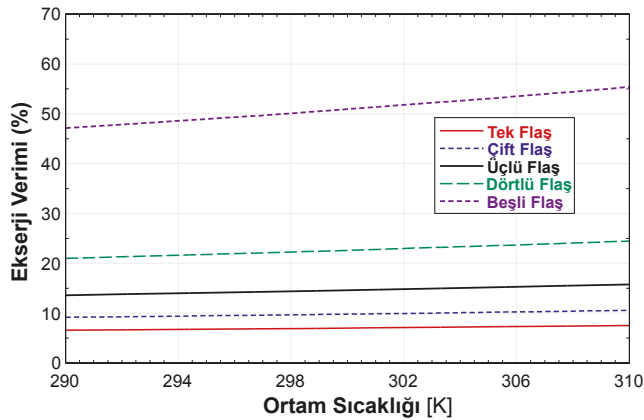
Şekil 49. Çift kademe buharlaştırmalı (double flash) jeotermal çevrim ([114]’ten uyarlanmıştır)

Uygulamada tek, çift ve üçlü buharlaştırmalı jeotermal güç çevrimleri kullanılmaktadır. Ratlamwala ve Dincer [115 ve 116] tek, çift, üçlü, dördü ve beşli buharlaştırma içeren jeotermal çevrimlerin teorik performanslarını kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Şekil 50’de beş kademeli buharlaştırma kademesi içeren jeotermal kaynaklı çoklu üretim sistemi şematik olarak görülmektedir. Sistemden elde edilen elektrik üretimi direkt olarak binalarda kullanıldığı gibi elektroliz vasıtasıyla hidrojen üretimi ve depolaması sağlanmaktadır. Sistemin enerji ve ekserji analizleri farklı kuyu sıcaklıkları için parametrik olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak tek, çift, üçlü, dördü ve beşli flaş sistemler için elde edilen ekserji verimleri sırasıyla %6,5, %9,1, %13,58, %21 ve %47,29 olarak belirlenmiştir. Dikkat edilecek olursa dört kademedan beş kademeye geçişte ekserji verimi iki kattan daha fazla bir artış göstermiştir.

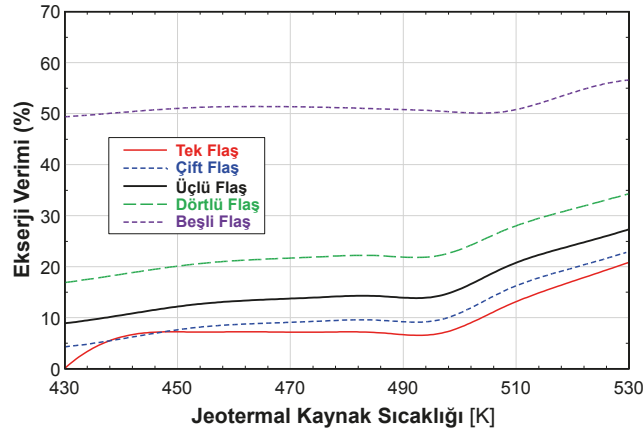


Şekil 50. Beş kademe buharlaştırmalı (Quintuple flash) jeotermal çevrim ([114]’ten uyarlanmıştır)

Tek, çift, üçlü, dördü ve beşli flaş sistemlerin dış ortam sıcaklığı ve jeotermal kaynak sıcaklığına bağlı ekserji verimi değişimleri sırasıyla Şekil 51 ve 52’de sunulmaktadır. Buna göre, kaynak ve dış ortam sıcaklıklarından bağımsız olarak buharlaştırma kademesi sayısının artırılması jeotermal kaynak potansiyelinin daha etkin kullanımı anlamına gelmektedir.



Şekil 51. Dış ortam sıcaklığının jeotermal sistem ekserji verimi üzerine etkisi ([115]’ten uyarlanmıştır)



Şekil 52. Jeotermal kaynak sıcaklığının jeotermal sistem ekserji verimi üzerine etkisi ([115]'ten uyarlanmıştır)

#### 4.6. Jeotermal Akışkanlardan Değerli Metal Kazanımı

Jeotermal akışkanlar içerisinde farklı tip mineraller ve yüksek konsantrasyonlarda ağır metaller bulunabilmektedir. Yüzeye çekilen jeotermal akışkanın çevreye ve insan sağlığına zarar vermemesi için kesinlikle yeniden kuyuya basılması gerekmektedir. Re-enjeksiyon öncesinde lityum, platin, altın, gümüş ve paladyum gibi değerli metallerin akışkandan ayrıklaştırılması, jeotermal kaynaktan elde edilen elektrik ve ısıl gücün yanı sıra ilave bir katma değer yaratmaktadır. Bu bölümde jeotermal akışkan içerisinde metal oluşum ve metal kazanım mekanizmaları açıklandıktan sonra Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) bölgesinde jeotermal sulardan lityum kazanımı üzerine yapılan çalışma sonuçları paylaşılacaktır.

##### 4.6.1. Jeotermal Akışkanlarda Değerli Metal Oluşumu ve Kazanımı

Jeotermal enerji, yerkürenin akkor halindeki çekirdek kısmında bulunan ısının yayılımı ile oluşan ve yerkabuğuna kadar yayılan ısı enerjisi olarak tanımlanır ve jeotermal gradyanı oluşturur. Bu ısı enerjisi, zaman zaman kabuk içerisine sokulan ve mantodan kaynaklanan magma intrüzyonları (*sokulumları*) ve/veya volkanik faaliyetleri oluşturan yine manto kökenli magmatik cepler ile kabuk içerisinde ısı anomalisi yaratırlar [117]. Yağışlarla yeryüzüne inen ve kayaçların gözeneklilik ve geçirgenliğine bağlı olarak yerin derin bölümlerine süzülen meteorik sular, bileşiminde değişik mineralleri içeren ve yüksek jeotermal gradyan nedeniyle ısınmış kayaçlarla etkileşime girerek ısınmakta, bu olayın sonucu olarak jeotermal akışkanların kimyasal bileşim ve fiziksel özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir. Meteorik sularla ısınmış kayaçlar arasındaki bu etkileşim su, buhar ve bunların karışımından oluşan jeotermal akışkanların kolay çözünebilir mineraller ve metaller bakımından doymuş hale gelmesini sağlarlar [118]. Böylece jeotermal akışkanlar lityum (Li), sezyum (Cs), rubidyum (Rb), altın (Au), platin (Pt), paladyum (Pd), gümüş (Ag) gibi değerli metaller ve nadir toprak metalleri bakımından zengin hale gelirler [117]. Akışkanların içinde dolaştığı kayaçların bileşimi, akışkanın kimyasal bileşimi ve akışkan kayaç etkileşimi sırasındaki ortamın sıcaklık, basınç ve pH koşulları, karışım ve kaynama gibi rezervuar prosesleri jeotermal akışkanların nihai kimyasal bileşimini etkileyen en önemli faktörlerdir [117].

Yüksek mineral ve metal konsantrasyonuna sahip jeotermal akışkanların bileşimindeki minerallerin geri kazanımı bir yandan önemli bir ticari fırsat yaratırlarken, diğer taraftan jeotermal akışkanların kullanımı sırasında oluşan korozyon ve kabuklaşma gibi çevresel problemlerin etkilerini en aza indirmektedir [119, 120]. Jeotermal akışkanların bileşiminde yer alan değerli metallerin bir bölümü endüstride yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Lityum (Li) seramik, cam yapımında kullanılmakta ve özellikle yeniden şarj edilebilir lityum bataryalar için hayati bir öneme sahiptir. Sezyum (Cs) ve rubidyum (Rb) vakum tüplerdeki oksijen giderici olarak termioyotik uygulamalarında ve fotosellerde alaşım olarak kullanılır. Altın (Au), platin (Pt), paladyum (Pd) ve gümüş (Ag) spesifik fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle tarım, ilaç gibi sanayi dallarında katalist olarak kullanılmaktadır [117]. Nadir toprak ele-

mentleri ışık saçma diodları (LEDs), lazerler ve elektronik video göstergeleri, renk ve ışık ayarlaması sağlayıcı, mikroelektronik parçaların minyatürleştirilmesi ve çevresel ve enerji tasarruflu standartlara uygunluk gibi ışıklandırma ve optik uygulamalarda kullanılmaktadır [121].

Jeotermal akışkanlardan değerli metal kazanımı; rezervuar kayacın durumu, bileşimi ve suyun yer altındaki sirkülasyon süresi gibi jeolojik özellikler ile, kazanım işleminin jeotermal akışkanlardan mı yoksa jeotermal akışkanların çökelttiği çamur/kabuk gibi katılardan mı yapıldığı gibi faktörlere bağlıdır [118]. Kazanım süreci ekonomik olarak kazançlı ve çevresel olarak kabul edilebilir özellikler taşımalıdır. Çamur ve kabuklaşmış materyallerden kazanım süreçlerinde asit liçi, biyokimyasal liç, sorpsiyon, buharlaşma ve sülfidlerden çöktürme yöntemleri tercih edilmektedir [117].

Akışkanlardan kazanım uygulamalarında ise izlenen yöntem kazanılan elemente göre farklılık göstermektedir. Jeotermal akışkanlarda yaygın olarak bulunan silisyumun kazanımı işlemlerinde magnezyum klorür ilavesi, sentetik polimer elektrotları, filtrasyon ve santrifüjleme yöntemleri uygulanmaktadır [117]. Yüksek yüzey alanı nedeniyle, lastik, plastik, kağıt, çimento, seramik, kozmetik, zirai ilaçlar ve yapıştırıcı endüstrilerindeki uygulamalarda kullanılan saf silisyum günlük 6 milyon poundluk bir pazara sahiptir. Jeotermal akışkanlarda en çok zenginleşen elementlerden diğeri de lityumdur. Seramik, cam, alüminyum ile artan oranda şarj edilebilir pillerin üretiminde kullanılan lityum yıllık 350 milyon dolarlık pazara sahiptir. Lityum jeotermal akışkanlardan ya doğrudan lityum tuzları şeklinde çöktürmeyle ya da iyon değiştirici reçineler kullanılarak kazanılmaktadır. Her iki yöntem de göllerden ve jeotermal kaynaklardan lityum kazanımı işlemlerinde kullanılmaktadır [117].

#### **4.6.2. Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) Bölgesi Jeotermal Sularından Lityum Kazanımı**

Demirkapı [122] tarafından yüksek lisans tezi olarak yapılan çalışmada Ömer-Gecek Bölgesindeki jeotermal sulardaki lityumun kazanılması için laboratuvar ortamında adsorban üretilmesi ve üretilen adsorban yardımıyla lityum iyonunun adsorpsiyonunun gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Ömer – Gecek jeotermal bölgesi Afyon-Akşehir Graben Sisteminin kenar faylarına bağlı olarak gelişmiş olup Afyonkarahisar ilindeki en önemli jeotermal alandır. Bölgede derinlikleri 200-1100 m arasında değişen 31 adet sondaj bulunmaktadır. Maksimum su sıcaklığı 128°C olan jeotermal suların elektriksel iletkenlik değerleri 7800  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 'ye kadar ulaşmaktadır. Bu sondajlardan elde edilen jeotermal sular 2,8 MW elektrik üretiminde, 25000 konut eşdeğeri kapalı alan ve 460000 m<sup>2</sup> jeotermal sera ısıtılmasında ve termal turizm amacıyla kullanılmaktadır.

Çalışmada Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) jeotermal bölgesinde Afyon Jeotermal Elektrik Üretim Tesisleri Turizm Sanayi ve Ticaret (AFJET) A.Ş.'ne ait AF-25 sondaj kuyusundan temin edilen orta entalpli jeotermal su kullanılmıştır. Yıldız vd. [123] tarafından yürütülen projede bölgedeki jeotermal sulara gerçekleştirilen hidrojeokimyasal analizlerde suların Li<sup>+</sup> değerlerinin 5,9 ppb ila 2383,0 ppb arasında değişmesi nedeniyle Ömer-Gecek bölgesindeki jeotermal suların örnek bir çalışma olarak lityum kazanımı üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Li<sup>+</sup> iyonlarına karşı seçiciliği yüksek bir inorganik adsorban laboratuvar koşullarında üretilmiştir. Adsorpsiyon çalışmaları yapay olarak üretilmiş lityum stok çözeltilerinde ve Ömer-Gecek bölgesine (Afyonkarahisar) ait çoklu iyon içeren jeotermal sulara gerçekleştirilmiştir. Böylece üretilen adsorbanın Li<sup>+</sup> iyonlarını adsorpsiyon performansı değerlendirilmiştir [117].

Adsorpsiyon çalışmaları sonucunda 1,6 mg/g Li<sup>+</sup> adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır. Bu sayede adsorban malzemenin yüksek konsantrasyonlu Li<sup>+</sup> içeren yapay hazırlanmış sulara veya jeotermal sulara belirli bir adsorpsiyon kabiliyetine sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu değer 1,6-2 ppm civarında Li<sup>+</sup> içeren jeotermal suların 1 m<sup>3</sup> nün 1 kg tutucu ile içerisindeki Li<sup>+</sup> iyonlarının adsorpsiyon ile elde edildiği anlaşılmıştır ve bu netice olarak kolon içerisinde 1000 kat zenginleşmenin mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Jeotermal sulara gerçekleştirilen 27 saatlik kolon deneyleri sonucunda da 1 g/dak besleme ile 1,7 ppm'lik adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır [117].



Aynı deney parametreleriyle gerçekleştirilen jeotermal sulardaki kolon deneylerinde 27 saat sonunda başlangıç konsantrasyonu 3,5 ppm olan jeotermal suların deneyin sonlarında %10 oranında kaçak verdiği (0,30 ppm) ve halen %90 oranında (3,2 ppm) adsorpsiyon yapabildiği gözlemlenmiştir. Bu sayede üretilen adsorbanların halen adsorpsiyon kabiliyetinin olduğu ve yüksek konsantrasyonlu sularda daha başarılı bir adsorpsiyon gerçekleştiği görülmektedir. Jeotermal sulardaki iyonların çeşitliliği ve yüksek konsantrasyonlarına rağmen yüksek seçimli olarak lityum adsorpsiyonu, salamuralardan lityum elde eden sistemlerde bulunan çeşitli iyonların engellemelerinden muaf olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular bir sonraki aşama olan pilot çapta bir düzenek kurma çalışmalarını cesaretlendirmektedir [117].

Jeotermal sulardan değerli metal kazanımı çalışmaları için öncelikle ülkemizdeki jeotermal kaynakların kıymetli metal konsantrasyonları değerlendirilmeli ve elde edilen sonuçlar ışığında jeotermal kaynaklardaki metallerin kazanımı için yöntemler seçilmelidir. Bu konudaki çalışmalar kamu kurumları, üniversiteler ve özel sektör temsilcilerinden oluşacak uzmanlık grupları tarafından yürütülmeli, böylece sonuç odaklı çalışmaların yapılacağı ve sektöre daha etkin geri dönüşün sağlanacağı proje süreç yönetimi oluşturulmalıdır.

## 5. DEĞERLENDİRMELER

Ülkemiz, jeotermal kaynakları açısından dünyada önde gelen ülkeler arasındadır. Son yıllarda gerçekleştirilen yönetmelik değişiklikleri ve teşvikler ile birlikte ülkemiz bu büyük enerji potansiyelini enerji üretimi, ısıtma/soğutma, sağlık hizmetleri, turizm sektörü ile birlikte seracılık ve kurutma gibi çeşitli zirai uygulamalarda aktif bir şekilde değerlendirmektedir. Ülkemizin sahip olduğu bu önemli değer, ekonomik, çevresel, sosyal ve kültürel yönlerden bir bütün olarak ele alınması ve buna uygun çok yönlü düzenlemelerin hayata geçirilmesi önem arz etmektedir. Bu bölümde ülkemizdeki jeotermal enerji kullanımına yönelik oluşturulan yasal düzenlemeler, finansal destek mekanizmaları ve çevresel kaygılar detaylı olarak değerlendirilerek mevcut durumun analizi yapılmıştır.

### 5.1. Ülkemizde Enerji Politikaları ve Yasal Durum

Türkiye eşsiz coğrafi konumu ile kıtalar ve kültürler arası doğal bir köprü olmasının yanı sıra küresel pazarlara etkin ve uygun maliyetli bir çıkış noktasıdır. 82 milyonluk dinamik nüfusu ve dünyanın en büyük 16. ekonomisi olması beraberinde başta elektrik enerjisi olmak üzere artan bir enerji talebini doğurmaktadır. Ekonomik büyümenin elektrik enerjisi talebine etkisi 2014–2018 döneminde yıllık ortalama %3,9 artış olarak yansımıştır [9]. Ülkemiz bu talebi 91,3 GW gücünde 8400'den fazla elektrik üretim tesisi ile karşılamaktadır. 2019 yılı içinde toplam 304 TWh elektrik enerjisi üretilmiş olup Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu çalışmasına göre elektrik tüketiminin 2023 yılında 376 TWh seviyelerinde ulaşacağı öngörülmektedir [9].

Ülkemiz Ulusal Enerji ve Madencilik Politikasının temel ayaklarından biri sürdürülebilir enerji arz güvenliğidir. Bu hedefimiz doğrultusunda yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik kurulu gücümüzün toplam kurulu güce oranının 2019 yılı sonu itibarıyla %48 olan seviyesinin 2023 yılı itibarı ile %65 seviyesine yükseltilmesi planlanmaktadır. 23/07/2019 tarihli ve 30840 sayılı Resmi Gazete 1. Mükerrerinde yayımlanan 11. Kalkınma Planına göre Cumhuriyetimizin 100. yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi içindeki payının %38,8 olması ve toplam kurulu gücün 109 GW olması hedeflenmektedir. 5436 sayılı YEK Kanunu kapsamında enerji arz güvenliği boyutu ile eşgüdüm sağlanması hedeflenmiştir. Bu hedefler ile uyumlu olarak 2019 yılında gerçekleşen 304 TWh toplam elektrik enerjisi üretiminde yerli ve yenilenebilir kaynakların payı %62, toplam elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payı ise %44 olarak gerçekleşmiştir. 12 GW seviyesinde olan yenilenebilir kaynaklara dayalı kurulu kapasitesi günümüz itibarıyla 44,4 GW seviyesine ulaşmıştır. Bu değerler enerji stratejimizin sonuçları açısından önümüzdeki dönem için güven vermektedir [9].

Ülkemizde Milli Enerji ve Maden Politikası temel olarak enerjinin sürekli, kaliteli ve düşük maliyetlerle sağlanması için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesini ve böylece ülkemizin enerji arz güvenliğinin temin edilmesini amaçlamaktadır. Bu bağlamda milli enerji politikası üç temel bileşen üzerine inşa edilmiştir: (i) kaynakta ve teknolojiye yerleştirme, (ii) piyasada öngörülebilirlik ve (iii) arz güvenliği (Şekil 53).



Şekil 53. Milli enerji politikası temel bileşenleri ([9]'dan uyarlanmıştır)

Milli enerji politikasında değinilen üç temel bileşen olan arz güvenliği, yerleşme ve öngörülebilir enerji piyasası üzerine sıralanan temel hedefler şu şekildedir [9]:

### (1) Arz Güvenliği

- Petrol ve doğal gaz için tedarikçi ülkelerin çeşitliliğini artırmak,
- Doğal gaz arz ve depolama kapasitesini artırmak,
- Petrol ve doğal gaz araştırmaları gerçekleştirmek,
- Enerji dağıtım altyapısını güçlendirmek,
- Enerji verimliliğini artırmak.

### (2) Yerleşirme

- Yerli üretim, AR–GE ve YEKA modeli ile yenilenebilir enerji alanında ilerleme sağlamak,
- Nükleer teknolojiyi kullanarak elektrik üretimine katkıda bulunmak,
- Madencilik teknolojisini özümsemek.

### (3) Öngörülebilir Enerji Piyasası

- Enerji arz altyapısını iyileştirmek,
- Sektördeki kurumları yeniden yapılandırmak,
- Enerji piyasalarını canlandırmak,
- Madencilik pazarını güçlendirmek.

Enerji kaynaklarının yerleştirilmesinde yenilenebilir enerji politikası önemli bir rol oynamaktadır. Burada vurgu yapılan temel hedefler şu şekilde özetlenebilir [9]:

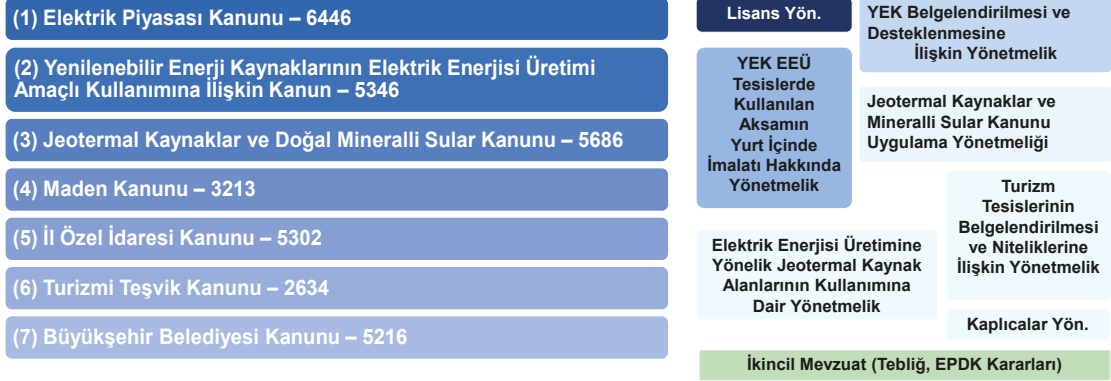
- Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin güvenli, ekonomik ve uygun maliyetli olarak teşvik edilmesi,
- Gelecek vaat eden yenilenebilir kaynakların kullanımının yaygınlaştırılması,
- Enerji kaynaklarının çeşitliliğinin artırılması,
- Enerji verimliliğinde artışın desteklenmesi,
- Sera gazı emisyonlarının azaltılması,
- Atık ürünlerden yararlanılması ve çevrenin korunması,
- İlgili mekanik ve/veya elektro–mekanik imalat sektörünün geliştirilmesi.

Enerji sektöründe yasal çerçeve birbirini tamamlayan kanunlar, yönetmelik ve tebliğler ile birlikte T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ve T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) gibi ilgili kurumların karar ve duyurularıyla düzenlenmektedir (Şekil 54). Elektrik sektörünü düzenleyen temel mevzuat 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'dur [9]. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi ile ilgili mevzuatın temel taşı 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu ve müteakip değişikliklerdir [9]. Yenilenebilir Enerji Kanunu; yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini teşvik etmede yasal çerçeveyi, tarife ve satın alma yükümlülüklerini düzenlemektedir [9].



Şekil 54. Enerji sektörü yasal çerçevesi ([9]'dan uyarlanmıştır)

Jeotermal enerji özelinde yasal çerçeve ve mevzuatlar incelenecek olursa (Şekil 55) burada farklı bakanlıklar veya kurumlar tarafından oluşturulan kanun ve yönetmeliklerin bağlayıcılığının olduğu görülmektedir.



Şekil 55. Jeotermal enerji mevzuatı ([9]'dan uyarlanmıştır)

Yenilenebilir enerji kaynaklarının öngörülebilir şeffaf piyasa koşullarında faaliyet göstermesi ve yatırımların desteklenmesi sürecinde 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) dönüm noktasıdır. YEKDEM, üretilen elektrik için alım garantisi içermesinin yanı sıra yerlileştirmeyi ve enerji arz güvenliğini destekleyecek şekilde yerli ekipman tedarikini de kapsamaktadır. Jeotermal enerji için 2020 yılı sonuna kadar işletmeye giren ve YEKDEM'e dahil olan lisanslı JES'ler için işletmeye girilen yıldan itibaren 10 yıl boyunca uygulanmak üzere 10,5 USD-cent/kWh şeklinde alım garantisi verilmektedir. Yine bu tesislerde kullanılan yerli malı belgeli aksam için 5 yıl süreyle yerli katkı desteği sağlanmaktadır. YEKDEM çerçevesinde farklı tip yenilenebilir enerji yatırımlarına ait uygulanan sabit alım fiyatları ve yerli aksam destekleri Şekil 56'da sunulmaktadır.

USD-cent	Alım Tarifesi	Yerli Aksam Desteği
Güneş (CSP)	133	9,2
Güneş (PV)	13,3	6,7
Biyokütle	13,3	5,6
Jeotermal	10,5	2,7
Rüzgar	7,3	3,7
Hidro	7,3	2,3

Şekil 56. Sabit fiyat garantisi ve yerli aksam desteği ([9]'dan uyarlanmıştır)

2011 yılında elektrik alım garantisinden ilk kez 4 adet JES tesisi yararlanmışken 2020 yılında alım garantisinden 49 adet JES tesisi faydalanacaktır. Yerli katkı ilavesi fiyatı uygulamasından ilk olarak 2014 yılında yararlanılmaya başlanmıştır. 2014 yılında ilk kez 1 adet JES tesisi faydalanmışken 1 Ocak 2020 yılı itibarıyla toplam 30 adet JES'e (kurulu gücü 830 MW) yerli katkı ilave fiyatı verilecektir [9]. Bu destekler sonrasındaki dönemde elektrik üreticileri üretimlerini serbest piyasa koşulları altında ikili ticari anlaşmalarla ya da EPIAŞ tarafından işletilen açık ve şeffaflık odaklı elektrik piyasasında satabilmektedirler. YEKDEM'in yerli katkı destekler yapısı günümüzde buhar ejektörü, jeneratör, türbin ve güç elektroniği ile yağlama sistemi ve hız kontrol sistemleri gibi bütünleştirici parçaların

yerli imalatını mümkün kılmıştır. Buhar veya gaz türbini için 1,3 USD–cent/kWh, jeneratör ve güç elektroniği ile buhar ejektörü ve vakum kompresörü grupları için 0,7 USD–cent/kWh yerli katkı desteği verilmektedir. Ulaşılan noktada jeotermal türbinlerinin üretimi için 4, jeneratör için 2 ve ejektör için 1 fabrikada yerli üretim imkanı sağlanmıştır. Yerli üretim desteğinin bileşen ve alt bileşen bazında detayları ise Tablo 35’te verilmektedir. Tablo 36’da ise jeotermal santraller için yerli aksam imal eden üretici firmalar listelenmiştir. Ülkemizde hali hazırda türbin, yağlama sistemi, hız kontrol sistemi, egzoz sistemi, jeneratör, güç elektroniği ve buhar ejektörü gibi alt bileşenlerin yerli üreticiler tarafından imal edildiği görülmektedir [9].

*Tablo 35. Jeotermal santraller için yerli üretim desteği ([9]’dan uyarlanmıştır)*

ANA BİLEŞEN	YERLİ ÜRETİM DESTEĞİ (USD-cent/kWh)	ALT BİLEŞEN	ALT BİLEŞEN ORANI
(1) Buhar veya Gaz Türbini	1,3	<b>1.1. BUHAR TÜRBİNİ</b>	
		1.1.1. Türbin	%55
		1.1.2. Yağlama Sistemi	%15
		1.1.3. Hız Kontrol Sistemi	%15
		1.1.4. Yoğunlaşma Sistemi	%15
		<b>1.2. GAZ TÜRBİNİ</b>	
		1.2.1. Türbin	%55
		1.2.2. Yağlama Sistemi	%15
(2) Jeneratör ve Güç Elektroniği	0,7	<b>2.1. JENERATÖR</b>	%70
		<b>2.2. GÜÇ ELEKTRONİĞİ</b>	%30
(3) Buhar Ejektörü veya Vakum Kompresörü	0,7	<b>BUHAR EJEKTÖRÜ veya VAKUM KOMPRESÖRÜ</b>	%100

*Tablo 36. Jeotermal enerji santrali yerli aksam üreticileri ([9]’dan uyarlanmıştır)*

ALT BİLEŞEN	YERLİ ÜRETİCİ SAYISI	YERLİ ÜRETİCİ	İL
Türbin	4	Turboden Turkey Orc Turbo Jeneratör A.Ş.	Ankara
		Ormatürk Yenilenebilir Enerji Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. Şti.	İzmir
		Exergy Turkey Türbin Enerji Teknolojileri A.Ş.	İzmir
		Atlas Copco Makinaları İmalat A.Ş.	İzmir
Yağlama Sistemi	4	Turboden Turkey Orc Turbo Jeneratör A.Ş.	Ankara
		Hidroser Hidrolik Pnömatik Makina Elemanları San.ve Tic. Ltd. Şti.	İstanbul
		Hps Hidrolik Proje Sistem Teknolojileri San. Tic. A.Ş.	İstanbul
		Ormatürk Yenilenebilir Enerji Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. Şti.	İzmir
Hız Kontrol Sistemi	4	Egesim Elektrik ve Taahhüt San. Tic. Ltd. Şti.	İzmir
		Promeda Elektrik ve Aydınlatma Malzemeleri San. ve Tic. Ltd. Şti.	İzmir
		Delta Proses Otomasyon Kontrol ve Elektronik Sistemleri San. ve Tic. Ltd. Şti.	İstanbul
		Ormatürk Yenilenebilir Enerji Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. Şti.	İzmir
Egzoz Sistemi	3	Turboden Turkey Orc Turbo Jeneratör A.Ş.	Ankara
		Hacı Ayvaz Endüstriyel Mamuller San. ve Tic. A.Ş.	İstanbul
		Atlas Copco Makinaları İmalat A.Ş.	İzmir
Jeneratör	2	TDPS Turkey (Özgür Motor)	Kocaeli
		EMS Elektrik Motor San.Tic. Ltd. Şti.	İstanbul
Güç Elektroniği	1	Egesim Elektrik ve Taahhüt San. Tic. Ltd. Şti.	İzmir
Buhar Ejektörü	1	Karbonsan Basıncılı Kaplar San. ve Tic. A.Ş.	İstanbul – Bursa

## 5.2. Jeotermal Enerji Sektörünün Gelişimi ve Yaşanan Sorunlar

Jeotermal enerjide son yıllarda gerçekleştirilen arama çalışmalarının artırılması, Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK) ve 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ile yatırım güvenliğinin sağlanması, getirilen teşvikler ve MTA tarafından keşfedilen ve ön çalışmaları tamamlanan jeotermal sahaların yatırımcıya ihale yolu ile devri gibi önemli gelişmeler sayesinde jeotermal enerjide oldukça yüksek bir yatırım portföyüne ulaşılmış, yerli ve sürdürülebilir enerji kaynağımız olan jeotermal enerjiden daha fazla yararlanmamız sağlanmıştır [18].

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre 2019 yılı sonunda ülkemiz toplam kurulu gücünün %1,66 oranında (toplam gücü 1515 MWe) Jeotermal Elektrik Santrali (JES) faaliyettedir. Ülkemiz toplam elektrik üretiminin %2,95'i JES'lerden sağlanmıştır. Türkiye, hızla artan jeotermal elektrik kurulu güç kapasitesi ile dünyada 4. sıradadır [9]. 2020 yılı itibarıyla lisanslı 55 adet jeotermal kaynağına dayalı santralin tüm ünitelerinin devreye alınması ile işletmedeki jeotermal kaynaklı elektrik kurulu gücümüzün 1514 MW'tan 1645 MW'a ulaşması beklenmekte olup, ön lisans aşamasındaki toplam kurulu gücü 316 MW olan 16 santralin daha devreye alınması ile kurulu gücün yakın vadede 1961 MW mertebesine ulaşması öngörülmektedir [8].

Ülkemiz jeotermal sektörünün dinamik yapısı ve özel sektörün giderek artan ilgisi ile teknolojik gelişime paralel şekilde ekonomik potansiyelin revizesi de gündeme gelmektedir. Gelişen teknoloji, yeni sondaj verileri ve mevcut kurulu kapasite ışığında, Türkiye'nin toplam jeotermal elektrik potansiyelinin 3000 MWe düzeylerine ulaşması beklenmektedir [9].

Türkiye'nin toplam teorik jeotermal görünür ısı potansiyelinin doğrudan kullanım açısından 7,5 milyon konut eşdeğeri veya 300 bin dönüm sera ısıtmasına denk 35500 MWt olduğu öngörülmektedir. Bu potansiyelin ekonomik karşılığının 1 milyon konut eşdeğeri, turizmde 1 milyon üstü yatak kapasitesi veya 6 milyar m<sup>3</sup>/yıl doğalgaz eşdeğeri olduğu ifade edilmektedir [9]. Mevcut durumda bu potansiyelin; bölgesel ısınma için yaklaşık 140000 konut eşdeğeri 1205 MWt, sera ısıtması için 4283 dönüm ısıtma eşdeğeri 820 MWt, turizmde ısınma amaçlı 420 MWt, turizmde hizmet amaçlı 1005 MWt, gıda sektöründe meyve, sebze kurutma amaçlı 2 MWt ve ısı pompası olarak 43 MWt olmak üzere toplam yaklaşık 3495 MWt'lik ısı potansiyeli kullanılabilir duruma gelmiştir [9]. Artan ısı potansiyeli ekonomik büyümeyi de desteklemektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve JESDER iş birliği ile yapılan istihdam anketi sonuçlarına göre; Türkiye'de jeotermal kaynaklı elektrik üretim sektöründe 5960 kişiye istihdam sağlanmaktadır [9].

Ülkemizde kaynak kullanımının çeşitlendirilmesi yaklaşımı, son yıllarda yenilenebilir kaynaklarda olumlu sonuçlar vermiştir. Bu bağlamda jeotermal kaynaklara olan ilgi, yapılan araştırmalar, teknik çalışmalar ve yatırımlar hızla artmış ve kullanımlar çeşitlenerek yaygınlaşmıştır. Enerji üretiminde hızla büyüyen, yeni enerji santrallerinin devreye sokulduğu, konut–sera ısıtması ve termal kullanımlarda önemli yatırımların gerçekleştirildiği bir dönem yaşanmaktadır. Ancak bu dönem ne yazık ki sorunsuz bir süreci ifade etmemektedir. Sorunları çözme durumundaki otoritenin, çözüme yönelik geliştirdiği önlemler ise, sıkça yapılan yönetmelik değişiklikleri ile sınırlıdır. Çoğu kez bilimsel ve teknik dayanaklı yoksun düzenlemeleri de içeren bu palyatif yaklaşım, haliyle çözüm olmaktan uzaktır. Esasen kaynaklara ilişkin karşılaşılan olumsuzlukların temel nedeni, kaynağın uzun bir süre yasal zeminden yoksun olması, birikmiş ve çeşitlenmiş sorunların günümüze taşınmasıdır. Sektörde yaşanan başlıca sorunlar şekilde sıralanabilir [13]:

- Arama dönemindeki riskler,
- Ruhsat hukuku, yasal, idari ve teknik sorunlar,
- Denetim yetersizliği,
- İdari yapılanmadaki dağınıklık, çok başlı mekanizma ve eşgüdüm eksikliği,
- Sürdürülebilirlik riski,

- Etkin ve verimli yararlanmada yetersizlik,
- Ruhsat sayısı, ruhsat pazarının oluşması,
- Yatırımcı güveninin sarsılması.

Bu sorunların yaşanmasına sebep olan temel etkenler ise Akkuş [13] tarafından şu şekilde belirtilmiştir:

- Sektörün uzun süre kaynağa özgü yasadan yoksun olması,
- Sorunların günümüze taşınması,
- Mevcut yasanın yetersizliği,
- Yasada kaynağın dinamik özelliğinin gözetilmemesi,
- Mevzuat karmaşası,
- Ulusal stratejinin olmaması,
- İdari yapılanma ve sürecin merkezi yönetilmemesi,
- Arama metodolojisi.

### 5.3. Jeotermal Kaynakların Çevresel Etkileri

Jeotermal enerji çevre dostu bir enerji kaynağı kaynağıdır. Dünyada son yıllarda teknolojinin gelişimi ile kullanımı artan jeotermal kaynakların yanlış uygulamalar sonucunda çevre üzerinde istenmeyen etkileri gözlenmeye başlanmıştır. Bu durum, iyi uygulamalara sahip işletmeleri de olumsuz etkilemiştir. Jeotermal santrallerin çevresel etkileri genellikle jeotermal akışkanın re-enjeksiyon yapılmadan çevredeki alıcı ortamlara deşarjı, santral bileşenlerinde korozyon ve kabuklaşma sebebiyle meydana gelen deformasyonlar sebebi ile ortaya çıkan sızıntı ve kaçaklar, gaz salımı, görüntü kirliliği, mikro-sismisite, çökmeler, termal ve kimyasal kirlilik şeklinde gerçekleşmektedir. Bu tür çevresel problemler yenilikçi yöntemler (akışkandan mineral eldesi, CO<sub>2</sub> endüstride kullanımı, entegre sistemler gibi) ile minimize edilebilmektedir [124]. Jeotermal enerji uygulamalarının avantaj ve dezavantajları Şekil 57’de sunulmaktadır.



Şekil 57. Jeotermal enerji uygulamalarının sağladığı avantaj ve dezavantajlar [124]

Türkiye son yıllarda, fosil yakıt ithalatı sebebiyle oluşan ekonomide dışa bağımlılıktan kurtulmak, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve fosil yakıtların çevresel sorunları minimize etmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmeye yönelmiştir. Türkiye’de 347 jeotermal alan ve 30°C derecenin üzerinde yüzey sıcaklıklarına sahip 600 üzerinde doğal kaynak bulunmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, bu alanların %12’sinde elektrik üretimi, %43’ünde ısıtma ve %45’inde termal kullanım potansiyeli bulunmaktadır. Ülkemiz jeotermal enerjiden elektrik üretiminde dünyada 4. sırada yer almaktadır. 1 Ocak 2020 itibarıyla Batı Anadolu’da yer alan 59 jeotermal elektrik üretim ünitesinde 1526 MWe seviyesinde kurulu güç kapasitesine ulaşılmıştır. Bu başarı maalesef santrallerin belirli bir bölgede odaklanmış olması ve yanlış uygulamaların gölgesinde kalmaya başlamıştır. Ege bölgesinde özellikle tarımsal faaliyetin yoğun olduğu Büyük Menderes ve Gediz Havzalarında santral kurulumu

jeotermalin çevresel etkisini artmasına sebep olmuş deşarj, gaz salımı ve diğer yanlış uygulamalar da bu durumu daha kötüye götürmüştür [124].

Jeotermal enerji ve doğrudan kullanım uygulamalarının çevreye etkileri fiziksel ve kimyasal olmak üzere genel olarak iki ana etki grubuna sahiptir. Fiziksel etkiler işletme öncesi süreçteki inşaat ve bakım aşamalarını, işletme aşamasında ise görsel-ışitsel kirlilik, deprensellik ve çökme ile rezervuar ve su kaynaklarının fiziksel parametrelerindeki değişimleri içermekte iken, kimyasal etkiler jeotermal akışkan ve buharların kimyasal bileşimi ile yüzeye çıktıktan sonraki etkilerini içermektedir [125, 126].

### **5.3.1. Su kirliliği**

Kuyulardan veya sistemden deşarj edilen akışkan doğal çevre üzerinde negatif etki yaratabilmektedir. Yüksek sıcaklıktaki akışkan, soğuk su kaynakları ile (*yerüstü ve yeraltı suyu*) karşılaştığında suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri değişebilmektedir. Özellikle deşarj yapılan alanlarda fiziksel bir etki olan alıcı ortamdaki sıcaklık değişimleri önemli bir çevresel problemdir [127, 128]. Ülkemizde Simav, Sarayköy gibi alanlarda bu tür problemleri görmek mümkündür.

Her bir jeotermal sahadaki akışkanın kimyasal bileşimi karmaşık litoloji, tektonik ve volkanik aktivite nedeniyle farklılık göstermektedir [129]. Jeotermal akışkan, yüksek konsantrasyonlarda ağır metal (Arsenik (As), Bor (B), Kadmiyum (Cd) ve Kurşun (Pb) gibi) içerebilir. Türkiye'deki jeotermal sahaların önemli bir kısmında bor, arsenik ve lityum gibi elementler bulunmaktadır. Özellikle, Ege bölgesinde yer alan jeotermal akışkanda yüksek konsantrasyonlarda bor ve arsenik mineralleri bulunmaktadır [125, 127, 129]. Batı Anadolu'daki jeotermal sistemler kimyasal açıdan oldukça dikkatli incelenmesi gereken sistemlerdir. Bazı alanlarda bu akışkanın deşarjı veya yanlış uygulamaları sonucu toprak ve su kaynaklarında kirlenme meydana gelmiştir. Bu nedenle, üretim sonrasında re-enjeksiyon işlemi mutlaka yapılmalıdır. Aynı şekilde jeotermal kuyu açılması sırasında veya sonrasında kuyuda meydana gelebilecek patlamalar ya da fişkırmalar hem toprak hem de su kaynaklarını etkilemektedir. Alaşehir ve Kula buna örnek olarak verilebilir.

### **5.3.2. Hava kirliliği**

Günümüzde, fosil yakıtların küresel iklim değişikliğine olan etkisini azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına hızlı bir yönelim olmuştur. 2019 yılında dünyada karbondioksit konsantrasyonu 410,38 ppm değerine ulaşmıştır [130]. Genel olarak, jeotermal kaynakların elektrik üretimi daha düşük sera gazı salımına sebep olmaktadır. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'na (IAEA) göre, bir kilowatt saat (kWh) fosil gücünün bir kilowatt saat jeotermal enerji ile değiştirilmesi, tahmini küresel ısınma etkisini yaklaşık %95 oranında azaltmaktadır. Jeotermal santral tipi (açık ve kapalı çevrim sistemler) hava emisyonları açısından oldukça önemlidir. Kapalı devre sistemlerde, kuyudan çıkarılan gazlar atmosfere maruz kalmaz ve rezervuara geri gönderilmektedir. Bu nedenle, hava emisyonları minimumdur. Ancak, açık döngü sistemler hidrojen sülfür, karbondioksit, amonyak, metan ve bor salımına sebep olmaktadır. Batı Anadolu'daki jeotermal santrallerde hidrojen sülfür ve karbondioksit oranlarının diğer gazlara göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu bilinmektedir. Ege Bölgesindeki akışkan, karbonatlı kayaçlardan alındığı için jeotermal sistemlerde CO<sub>2</sub> değeri yüksektir. Ancak, yapılan gözlemlere göre, bölgedeki üretimlerin artması ile CO<sub>2</sub> konsantrasyonun zamana bağlı olarak azaldığı görülmektedir [124].

### **5.3.3. Görsel ve İşıtsel Kirlilik**

İnşaat aşamasındaki görsel kirlilik hafriyat araçları ve inşaat faaliyetleri sonucu oluşan atıkların depolandığı yerlerde oluşmaktadır. İşletme aşamasında, görüntü kirliliği santralin boru hatlarından ve işletme binasından oluşmaktadır. İnşaat aşaması, jeotermal enerji üretiminin en gürültülü aşamalarından biridir. Ancak bunlar minimize edilebilecek problemlerdir. Deşarj sırasındaki gürültü, geleneksel bir susturucu kullanılarak yaklaşık 85 dB'ye ve bir kaya susturucusu ile 65–70 dB'ye kadar azaltılabilir [131]. Aksi durumlarda makine çalışma sesleri ve buhar salımı gibi sesler ani veya uzun süreli reaksiyonlara, psikolojik etkilere ve huzursuzluğa neden olabilir [124].



#### 5.3.4. Çökme ve Mikrosismisite

Mikrosismisite, tektonik olarak aktif bölgelerdeki fayların aktivitesinin bir sonucudur. Bir deprem, fay aktif olduğunda meydana gelir ve zemini sallayan sismik dalgalar oluşturur. Depremsellik, bazen jeotermal alanların ve doğal aktivitelerin geliştirilmesi de dahil olmak üzere insan aktivitesinden kaynaklanabilmektedir. “Mikro depremler” olarak adlandırılan düşük büyüklükteki sismik faaliyetler, Richter büyüklüğü 3’ün altında olan depremlerdir. Jeotermal santrallerin çevresinde mikro depremler oluşabilmektedir. Hem akışkanın çekimi hem de akışkanın rezervuara verilmesi ile mikro-depremler oluşabilmektedir. Jeotermal sahalarda sismik verilerin detaylı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu konuda ülkemizdeki çalışmalar son derece yetersizdir. Yapılan incelemeler bazı jeotermal sahalarda mikrosismisitenin arttığını göstermektedir [124].

#### 5.3.5. Çevresel Etkileri Gidermeye Yönelik Öneriler ve Yenilikçi Yöntemler

Çevresel etkiler, yanlış uygulamalar ve alınmamış önlemler sonucunda meydana gelen problemler yenilikçi yaklaşımlarla minimize edilebilmektedir. Buna ilişkin bazı çalışmalar bu bölümde kısaca özetlenmektedir. Ülkemizdeki en önemli sorunlardan biri jeotermal sondaj kuyularının mühendislik özelliklerine uygun olarak tasarlanmamış olmasıdır. Bu nedenle, teçhizatlar kısa süre içerisinde bozunmaya uğrayabilmekte ve çalışamaz duruma gelmektedir. Bu nedenle, jeotermal kuyu tasarımlarına ilişkin iyi uygulamaların (Yeni Zelanda kotları gibi) devreye alınması gerekmektedir. Aynı durum iletim borularında da gözlenebilmektedir [124].

Jeotermal akışkan bor, lityum ve stronsiyum gibi minerallerce zengindir. Söz konusu minerallerin çevreye bırakılması ciddi problemler yaratabilmektedir. Ancak, bu mineraller ekonomik açıdan da oldukça önemlidir ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Jeotermal akışkanda lityum kazanımına ilişkin Amerika, Japonya ve Almanya’da yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Amerika ve Japonya’da jeotermal kaynaklarda lityum kazanımına yönelik pilot tesisler kurulmuştur. Ülkemizde ise bu konulara yönelik çalışmalar yapılmakta olup, ancak ekonomik destekler son derece düşüktür. Bununla birlikte akışkandan Boron kazanımı ve giderimine yönelik çalışmalar da yakın zamanda Balçova jeotermal sahasında başlayacaktır. Böylece akışkandan toksik mineraller kazanılacak ve mineralce zengin akışkan tarımsal amaçla kullanılmış olacaktır.

Silika geri kazanım yöntemi, bitki verimliliğini ve bileşenlerini olumsuz etkileyen ölçeklenmeyi önlemek için kullanılabilir. Jeotermal sistemdeki basınç ve pH dengesinde önemli bir rol oynayan CO<sub>2</sub>’yi yeniden enjekte etmek ise çok yararlı bir süreç olarak düşünülmelidir. CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S yeraltına verilmesine ilişkin çalışmalar başarılı bir şekilde İzlanda’da yürümektedir (Şekil 58). Ülkemizde ise Tuzla jeotermal sahasında CO<sub>2</sub>’in inhibitör olarak kullanılmasına yönelik çok başarılı çalışmalar yapılmaktadır (Şekil 59). Bu uygulama dünyada jeotermal sistemler için geliştirilen en özgün çalışmalardan bir tanesidir [132].



Şekil 58. CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S’in yeraltına re-enjekte edilmesi [124]

Bununla birlikte jeotermaldeki akışkandan CO<sub>2</sub> kazanılması ve endüstride kullanımına (*kuru buz olarak*) ilişkin ülkemizde dört jeotermal santralde üretim yapılmaktadır [124]. Türkiye'nin hemen hemen tüm jeotermal sahalarında kabuklaşma ve korozyon potansiyeli bulunmaktadır [133]. Jeotermal akışkanlar silika ile doygundur ve tipik olarak kalsit, aragonit ve metal sülfürler ile doygunluğa yatkındır [134-136]. Üretim sırasında sıcaklık ve basıncın azaltılması çözünürlüğü azaltmakta ve kabuklaşmaya neden olmaktadır [137]. Bu tarz sorunlar Ege bölgesindeki santrallerde de karşılaşılan problemlerdir. Teknik anlamda sorun yaratan bu durum, santral verimini düşürmektedir ve santral bileşenlerine zarar vermektedir. Korozyon ve kabuklaşmayı engellemeye yönelik çalışmaların artması, uzun vadeli çevre sorunlarının azalmasına yardımcı olacaktır.



Şekil 59. Tuzla jeotermal sahasında CO<sub>2</sub>'in sisteme verilmesi [124]

#### 5.4. Jeotermal Sistemlerde Karşılaşılan Sorunlar

Jeotermal kaynaklı elektrik üretiminde geline seviye ülke geleceği ve ekonomisi açısından oldukça olumludur. Ancak kurulu santrallerin Ege Bölgesi'nde çok dar bir alanda çok sayıda olması ve bunun yanında yerleşim alanlarının tarımda ülke için oldukça önemli ihracat ürünlerinin (üzüm, zeytin, incir vb.) üretim alanına denk gelmesi, son yıllarda yaşanan çevresel sorunların ana nedenleri arasında yer almaktadır. Ege Bölgesi'nde belirlenen çevresel sorunların büyük bir bölümü yanlış uygulamalar başlığı altında toplanabilmektedir. Geriye kalan kısmı ise jeotermal santrallerin inşa ve işletme aşamasında ortaya çıkardığı sorunlardır. Sorunların temelinde, mevzuatlardaki bazı eksiklikler, eğitim eksikliği ve sektör-yöre halkı-kurumlar arasındaki iletişim kopukluğu yer almaktadır. Bu şartlar altında denetleme ve izleme eksikliği ile çevresel sorunlar son zamanlarda daha çok yaşanmaya başlamıştır [124].

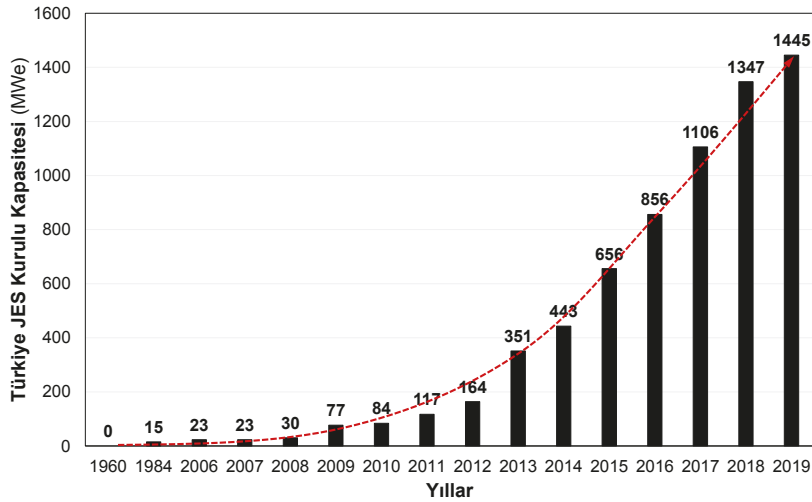
Jeotermal sistem kavramı coğrafik ve jeolojik olarak şekillendirilen, sistem bileşenlerinin yerkürenin iç dinamiği kontrolünde farklılık gösterdiği kaynak oluşum ortamlarıdır. Bu nedenle, Batı Anadolu'daki jeotermal sistemler ile Anadolu'nun diğer bölgelerindeki jeotermal sistemler arasında farklılıklar bulunmaktadır [125, 126, 128, 138]. Bu farklılıklar jeotermal akışkanın fiziksel ve kimyasal özelliklerini de etkilemektedir. Kimyasal bileşim santrallerde korozyon ve kabuklaşma gibi sorunlar yaratmaktadır [134, 135]. Bu tarz problemler ise farklı işlemler ile çözülebilmektedir ancak işletmelerde ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

Ülkemizde Batı Anadolu'daki jeotermal santraller genel olarak temelinde karbonatlı kayalar bulunan jeolojik oluşum ortamlarında akışkan almaktadır. Bu jeotermal sistemlerde yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının ölçülmesi olağan bir olgudur. Aynı şekilde, volkanizmanın ya da sülfür minerallerince zengin olan şistlerin etkili olduğu metamorfik alanlarda H<sub>2</sub>S oranlarının yüksek olması akışkanın jeotermal sistemde dolaşımı ile direkt olarak ilişkilidir. CO<sub>2</sub> gazı sera etkisi nedeniyle küresel etkiye sahip olmasına rağmen H<sub>2</sub>S atımının etkisi lokaldir. Topografyaya, rüzgâr yönüne ve toprak kullanımına bağlı olarak H<sub>2</sub>S etkisi farklılık göstermektedir [139]. Ekipman korozyonu, asit yağmurları, göz ve solunum yolları tahrişi nedeniyle rahatsızlık vericidir. Benzer şekilde H<sub>2</sub>S bölgede istenmeyen kötü kokusu yöre halkı üzerinde tepki oluşturan bir olgudur.

Akışkanın doğası gereği sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler dışında sistemlerde işletme öncesi ve sonrasında yapılan yanlış uygulamalar problemlerin temelini oluşturmaktadır. Re-enjeksiyon yapılmaması, yani akışkanın alıcı ortamlara deşarj yapılması, çevresel etkinin en büyük nedenlerinden birisidir. Re-enjeksiyon yapmamak yasal prosedüre aykırıdır, ancak işletmeler re-enjeksiyon yaparak jeotermal sistemin devamlılığını yani kendi işletmelerinin uzun vadeli geleceğini de tehlikeye atmaktadır. Re-enjeksiyon yapılmayan sistemlerde sıcaklık, basınç ve debi gibi rezervuar parametreleri hızla düşmekte, sistem devamlılığını yitirmekte ve santrallerin verimi düşmektedir.

### 5.5. Risk Paylaşım Mekanizması (RPM)

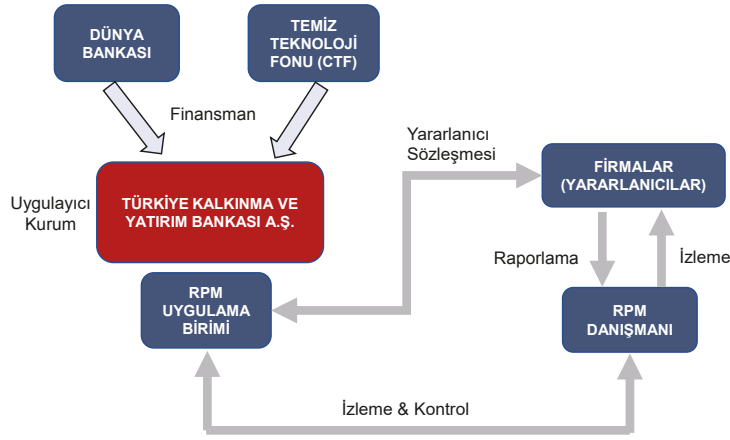
Türkiye’de jeotermal enerjiden elektrik üretiminin gelişimi son on yılda dikkate değer bir biçimde artış göstermiş ve ülkemizi Avrupa’da birinci, dünyada ise dördüncü sıraya kadar yükseltmiştir. 1984 yılında, 15 MW kurulu kapasiteye sahip Kızıldere-I jeotermal enerji santrali (JES) ile başlayan gelişim, 2006 yılında ilk özel sektör jeotermal santral olan Dora-I’in devreye girmesi ve sonrasında 2007 yılında yürürlüğe giren 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ve Uygulama Yönetmeliği ile hızla devam etmiştir [140]. EPDK verilerine göre, lisansı devam edenler ile mevcut durumda işletmede olan toplam 51 jeotermal enerji santralinin kurulu kapasitesi 1445 MWe değerine ulaşmıştır [141]. İnşaat aşamasında olan toplam 5 adet jeotermal enerji santralinin kurulu gücü 200 MW olup, işletmeye alınması ile toplam kapasite 1645 MWe değerine ulaşacaktır [142]. Aynı zamanda, yine EPDK verilerine göre, 18 adet jeotermal enerji santrali için ön lisans alınmış, toplam kurulu kapasitesi ise 328 MW olarak yayımlanmıştır [142]. Ayrıca, sektörün gelişiminde önemli bir etken olan ve 2010 yılında yürürlüğe giren düzenleme ile 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK) kapsamında destekleme mekanizmaları tanımlanmış ve jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı için 105 USD/MWh tarifesi belirlenmiştir. Belirlenen bu tarife, YEK Kanunu’nun yürürlük tarihi olan 18/5/2005 tarihinden 31/12/2020 tarihine kadar işletmeye girmiş ya da girecek olan üretim tesisleri için 10 yıl süre ile geçerli olacaktır [143]. Bununla birlikte, santralde yerli ekipman kullanımı da söz konusu olursa, mevcut tarifeye ilave olarak ve 5 yıl geçerli olacak şekilde 27 USD/MW ek fiyat belirlenmiştir. Jeotermal enerjiden elektrik üretimini destekleyen yasal düzenlemeler ve YEK mekanizması ile JES kurulu kapasitesi son on yıl içinde üstel bir artış ile 1445 MWe değerine ulaşmıştır (Şekil 60).



Şekil 60. Türkiye JES kurulu kapasitesinin yıllar içerisinde değişimi ([141]’ten uyarlanmıştır)

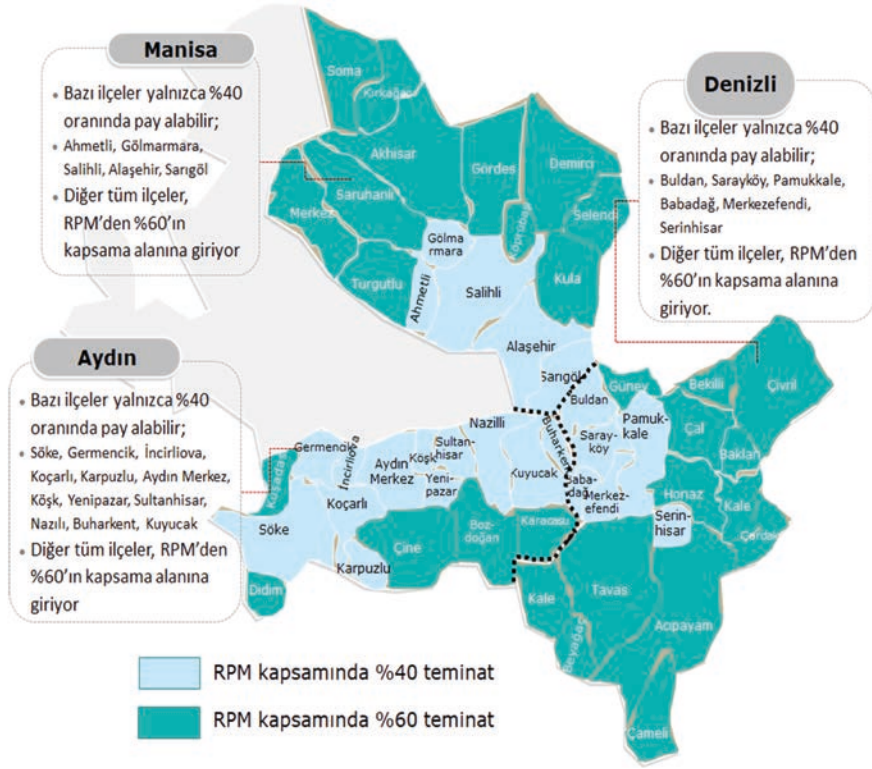
30 Kasım 2016 tarihinde Dünya Bankası ile Kalkınma Yatırım Bankası arasında *Türkiye Jeotermal Geliştirme Projesi* imzalanmıştır [141]. Bu proje iki bileşenli olup biri özel sektör jeotermal yatırımlarına kredi imkanı, diğeri ise jeotermal enerji sektörüne yönelik Risk Paylaşım Mekanizmasıdır (RPM). Dünya Bankası, RPM proje bütçesi için Temiz Teknoloji Fonu (CTF) kaynaklı bir hibe sağlamış olup, projenin yürütme görevi ise Kalkınma Yatırım Bankası'na verilmiştir. RPM süreçleri, Proje Uygulama Birimi (PIU) olarak adlandırılan ve Kalkınma Yatırım Bankası Mühendislik birimi içerisinde belirlenen bir ekip tarafından takip edilmektedir [141]. Projede uluslararası bir danışman ile çalışılması öngörülmüş ve bu nedenle uluslararası bir ihale gerçekleştirilmiş ve dört firmanın konsorsiyumu ile oluşan bir danışman (ISOR, Verkis, Af Consult, AFM Turkey) seçilmiştir. Proje akış şeması Şekil 61'de belirtilmiştir.

Risk Paylaşım Mekanizması (RPM) ile, jeotermal enerji yatırımcılarının (ısıtma amaçlı kullanımlar dahil) kaynak araştırma ve doğrulama amaçlı kuyu delme faaliyetlerinde karşılaşılabilecek risklerin karşılanması amaçlanmaktadır. Ayrıca, jeotermal yatırımlarının erken dönem risklerinin belirli oranlarda karşılanması ile özel sektörün arama dönemi jeotermal yatırımlarına olan ilgisinin artırılması ve ülke genelinde keşfedilmemiş alanlarda jeotermal yatırımların geliştirilmesi de amaçlanmaktadır [141].



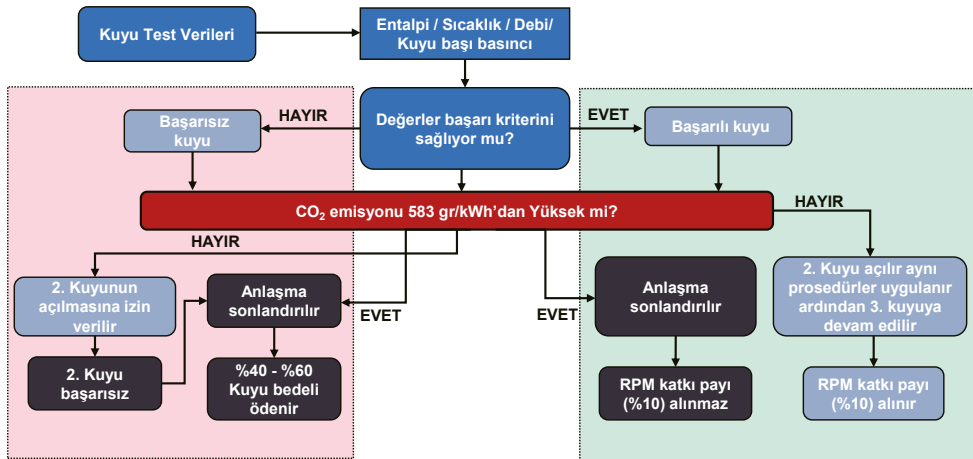
Şekil 61. Risk Paylaşım Mekanizması (RPM) akış şeması [141]

Risk Paylaşım Mekanizmasına, jeotermal enerjiden elektrik üretimi ve ısı kullanım amacıyla yararlanacak olan ve başvuru tarihinden itibaren en az 18 ay geçerli bir arama lisansına sahip tüm yatırımcılar başvuruda bulunabilmektedir. Proje, 2018 yılının Şubat ayında başlamış olup tahmini bitiş tarihi Aralık 2022 olarak belirlenmiştir. Aydın, Denizli ve Manisa illerinde daha önceden keşfedilmiş olan ve jeotermal enerjiden elektrik üretiminin yoğun olduğu ilçelerdeki projelerin RPM kapsamında karşılama oranı, delinen kuyuların başarısız olması durumunda kabul edilebilir kuyu maliyetinin %40'ı, diğer bölgeler için ise, %60'ı olarak belirlenmiştir [141]. Şekil 62'de Aydın, Denizli ve Manisa illeri ve ilçelerindeki karşılama oranları detaylı olarak belirtilmiştir.



Şekil 62. Risk Paylaşım Mekanizması (RPM) kapsamında karşılama oranları [141]

RPM projesi kapsamında delinen kuyular başarılı olursa, yatırımcı kabul edilebilir kuyu maliyetlerinin %10'u oranında başarı primi ödeyecektir. Her projenin en fazla 3 adet jeotermal arama kuyusu RPM kapsamına alınabilmektedir. Ancak, RPM uygulama biriminin uygun görmesi durumunda, 4. ve 5. kuyuların da delinmesi mümkündür. Bu durumda 4. ve 5. kuyuların RPM karşılama oranı her biri için kabul edilebilir kuyu maliyetlerinin %40'ı oranında olacaktır. 4. ve 5. kuyuların başarı primi ise kuyu maliyetlerinin %25'i oranında hesaplanacaktır. Proje kapsamındaki her bir yararlanıcı firma için en fazla 4 milyon USD ödeme yapılacaktır. Delinen kuyularda ölçülen CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, 583 gr/kWh değerinden düşük olmalıdır. Yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonu içeren kuyular için RPM programı sonlandırılmaktadır. Proje kapsamındaki kuyulardan 2 tanesi başarısız olursa, RPM programı yine sonlandırılmaktadır [141]. Projenin akış diyagramı Şekil 63'te sunulmaktadır.



Şekil 63. Risk Paylaşım Mekanizması (RPM) akış diyagramı [141]

### 5.5.1. Risk Paylaşım Mekanizması Uygulama Aşamaları

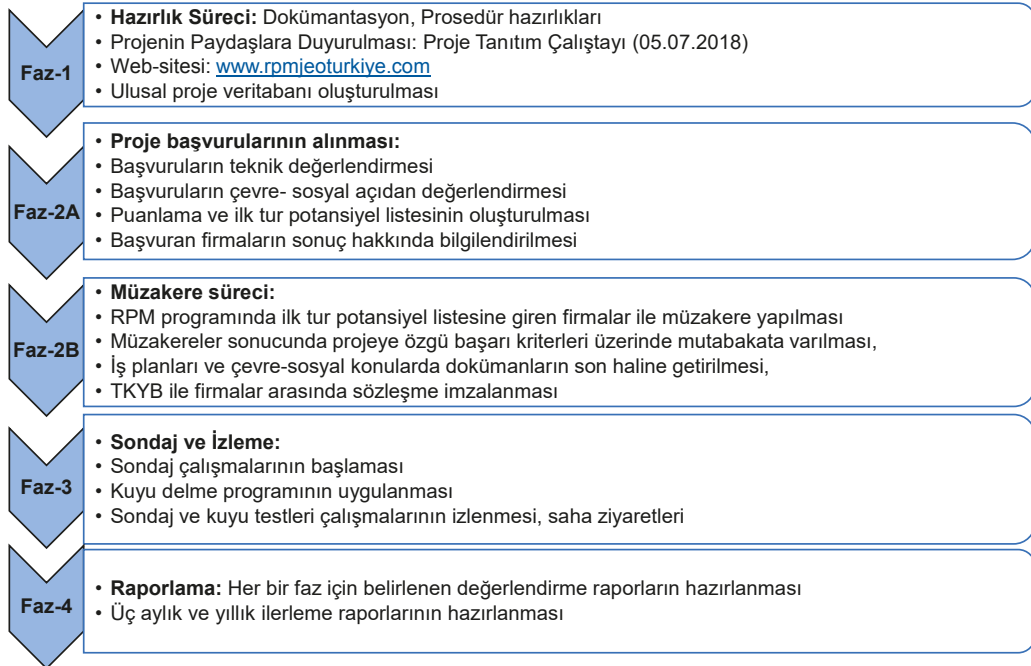
RPM projesi 4 uygulama aşaması ile yürütülmektedir. Bunlardan ilki hazırlık aşaması, ikincisi proje başvurularının alınması, değerlendirilmesi ve müzakere aşamaları, üçüncü sondaj ve izleme, dördüncü ve son aşaması ise raporlamadır. RPM uygulama aşamaları (faz) Şekil 64'te özetlenmektedir. Her bir uygulama aşaması aşağıdaki alt bölümlerde detaylandırılmıştır.

#### 5.5.1.1. Hazırlık Aşaması

RPM'nin hazırlık aşamasında RPM danışmanın katkılarıyla projenin dokümantasyon, prosedür hazırlıklarının yapılması ve paydaşlara duyurulma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hem projenin paydaşlara tanıtılması hem de potansiyel yararlanıcıların belirlenebilmesi için 05.07.2018 tarihinde RPM Tanıtım Çalıştayı düzenlenmiştir. Ayrıca, projeye ait bir web sitesi oluşturulmuş ve böylece, güncel duyurular ile projenin gelişimi hakkındaki bilgiler, başvuru şartları ve ön başvuruların alınması web sitesi üzerinden gerçekleştirilmiştir. RPM projesine ait web sitesi "https://rpmjeoturkiye.com" olarak yayımlanmıştır [144]. Projenin bu aşamasında ayrıca, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı olacak şekilde, proje bazında ulusal bir veri tabanı oluşturulması çalışmalarına da başlanmıştır.

#### 5.5.1.2. Proje Başvurularının Alınması, Değerlendirilmesi ve Müzakere Aşaması

RPM'nin ikinci aşamasında, proje başvurularının alınması ve değerlendirilmesi süreçleri gerçekleştirilmiştir. Programa toplam 21 farklı proje için başvuruda bulunulmuştur. Başvuruda bulunan projelerin %34'ü RPM karşılama oranının %60 olduğu bölgelerden; %64'ü ise, RPM'in %40'lık karşılama oranına sahip bölgelerden gerçekleşmiştir. Başvuruda bulunan tüm projeler RPM Uygulama Birimi ve RPM Danışmanı tarafından Tablo 37'de yer alan kriterler esas alınarak değerlendirilmiş ve puanlama yapılmıştır. Değerlendirme kriterleri kullanılarak yapılan puanlamada, 70 ve üzeri puan alan projeler, RPM ilk uygulama programı için seçilmiştir.



Şekil 64. Risk Paylaşım Mekanizması (RPM) uygulama aşamaları [141]

Tablo 37. RPM değerlendirme kriterleri ve puanlamalar [141]

Sıra	Değerlendirme kriteri	Maksimum puan
1	Yerbilimi arama çalışmaları	30
2	Sondaj programı ve kuyu tasarımı	20
3	Sektör deneyimi	20
4	İş planı	25
5	Yararlanıcı lisans bölgesi	5

RPM'nin ilk uygulamasında 21 proje değerlendirilmiş, 70 puan ve üzeri alan toplam 7 adet proje programa seçilmiştir. Başvuruda bulunan tüm firmalara olumlu ya da olumsuz geri bildirimler yazılı olarak nedenleriyle birlikte iletilmiştir. RPM'nin müzakere aşaması, bir önceki aşamada belirlenen firmalarla projenin başarı kriterleri, iş planları ve çevre–sosyal konulardaki gerekli izin ve raporlamalar üzerinde mutabakata varılana dek gerçekleştirilen çalışma ve görüşmeleri içermektedir. Bu aşamada her bir yararlanıcı ile sözleşmeye esas olacak başarı kriterleri kuyu bazında belirlenmektedir. Başarı kriterlerinin temelini, programa dahil olan her bir kuyudan ne kadar güç elde edilebileceği oluşturmaktadır. Kuyu başına üretilebilecek güç miktarının hesaplanmasında; kuyudan elde edilebilecek jeotermal akışkan miktarı, rezervuar sıcaklığı ve ısının elektriğe dönüşümünde kullanılacak ve rezervuar sıcaklığının bir fonksiyonu olarak dönüşüm verimliliği faktörü kullanılmaktadır. Tüm bu teknik kriterler yararlanıcı firma, RPM uygulama birimi ve RPM danışmanı tarafından müzakere edilerek, Dünya Bankası ekibinin de uygun görüşüyle sözleşmeye esas olacak mutabakat sağlanmaktadır.

#### 5.5.1.3. Sondaj ve İzleme Aşaması

RPM'nin sondaj ve izleme aşamasında, müzakere edilerek belirlenen başarı kriterlerine göre düzenlenmiş, yararlanıcı sözleşmesinin imzalanmış ve gerekli çevre sosyal izinler ile raporları tamamlanmış projeler için sahada sondajın başlaması ve izlenmesi, kuyu testlerinin gerçekleştirilip raporlanması gerçekleştirilecektir.

Bu aşamada yararlanıcı firmalar, RPM danışmanı ve RPM uygulama birimi ile koordineli olarak ve önceden belirlenerek onaylanmış kuyu programına bağlı kalarak sondajı gerçekleştirmek ve günlük raporlamalarını yapmakla yükümlüdür. RPM danışmanı ve RPM uygulama birimi sondaj ve sonrasında gerçekleştirilecek kuyu tamamlama testleri süresince projeyi yerinde inceleyerek verileri değerlendirebilecektir. Sondaj tamamlandıktan sonra önceden belirlenmiş prosedürlere uygun şekilde kuyu testleri yapılacaktır. Kuyu testlerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi, sözleşmeye esas olan kuyunun başarı kriterlerine göre karşılaştırılarak kuyunun başarılı olup olmadığı sonucu elde edilecektir.

#### 5.5.1.4. Raporlama Aşaması

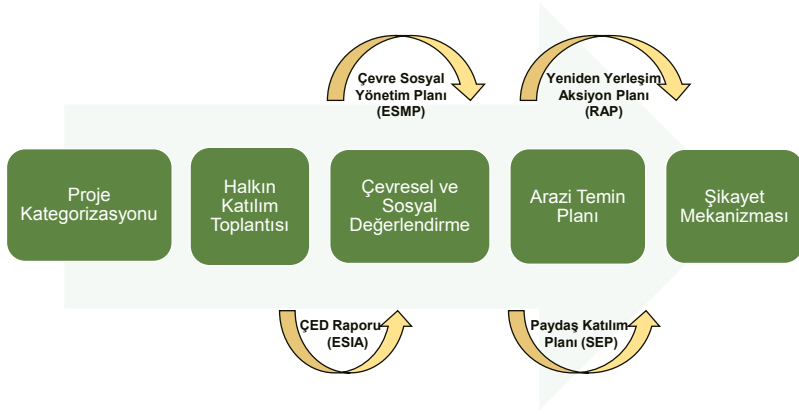
RPM'nin raporlama aşaması, önceki her bir fazda belirlenen değerlendirme raporlarının hazırlanması, ayrıca üç aylık ve yıllık ilerleme raporlarının RPM danışmanı tarafından hazırlanmasını içermektedir.

#### 5.5.2. RPM Çevre Sosyal Konular Uygulama Süreci

RPM'nin ilk aşamasından son aşamasına kadar süreçlerin her birinde uygulanan ve sürekli izlenen çevre ve sosyal konularla ilgili etkileşimlere ait akış diyagramı Şekil 65'te sunulmaktadır. RPM programına dahil olan her bir projenin çevresel ve sosyal açılardan risk kategorize edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, proje alanında yaşayan halkın bilgilendirilmesi amacıyla halkın katılımı toplantılarının yapıp raporlanması gerekmektedir. Yararlanıcılarla sözleşme imzalanmadan önce sondaj lokasyonlarını ve lisans alanını içeren çevresel ve sosyal değerlendirmelerin yapılması ve Çevre Sosyal Yönetim Planının (ESMP) hazırlanması, proje büyüklüğüne göre “ÇED Gerekli Değildir” ya da “ÇED Olumlu” kararlarının alınmış olması gerekmektedir. Bununla birlikte, yararlanıcı firmaların sondaj lokasyonları için arazi sahipleri ile kiralama ve/veya satın alma alternatiflerine göre mutabakata varmış olması, buna

uygun olarak Arazi Temin Planı ve Paydaş Katılım Planı (SEP) gibi rapor ve planları hazırlamış olması istenmektedir. Sözleşme imzalama aşamasında, sahada kiralanan sondaj kulesi ve sondaj yüklenicisi firmanın belirlenmesi ve bu firmalar tarafından alt çevre yönetim (SMP), İş Sağlığı ve Güvenliği, Atık Yönetimi (WMP) ve Acil Müdahale (ERP) planlarının hazırlanması ve RPM uygulama birimi ile Dünya Bankası uzmanları tarafından onaylanmış olması gerekmektedir. Tüm bu detay planlar hazırlandıktan sonra sahada sondaj faaliyetleri başlayabilecektir. Sondaj ve kuyu testleri sırasında gerçekleştirilecek izlemelerin kapsamında çevre sosyal konular ile iş sağlığı ve güvenliği de yer alacak ve ayrıca raporlanacaktır.

Projenin mevcut durumu değerlendirildiğinde müzakere aşaması bir yararlanıcı firma için tamamlanmış olup sözleşme imzalama aşamasına gelinmiştir. Kalan altı proje için süreç devam etmektedir. Sözleşmeler imzalandıktan sonra saha çalışmaları başlayacaktır. RPM'nin ilk uygulama aşamaları devam ederken 2020 yılı içerisinde ikinci dönem için duyuruların yapılıp başvuruların alınarak değerlendirmelerin yapılması planlanmaktadır.



Şekil 65. Risk Paylaşım Mekanizması (RPM) çevre sosyal konular uygulama süreci [141]

### 5.5.3. Yeni Zelanda ve İzlanda Jeotermal Kanun Düzenlemelerinin Değerlendirilmesi

Jeotermal enerji kaynakları, rüzgar ve güneş gibi gün içerisinde değişikliklerin yaşanmadığı sürdürülebilir ve güvenli bir güç üretim yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Ancak dünya genelinde jeotermal güç üretim sistemleri incelendiğinde, jeotermal kullanım hızının doğal oluşum hızına göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir [145]. Jeotermal kaynakların kendini yenileyebilecek şekilde uygun kullanımının temin edilmesi bir zorunluluktur. Aksi takdirde, insanlık için son derece önemli bir potansiyele sahip bu kaynakların zaman içerisinde potansiyellerinde önemli düşüşler gözlemlenmektedir. 2015 yılında IRENA ve Jeotermal Enstitüsü iş birliği ile Yeni Zelanda, Şili, Kenya ve Filipinler'de jeotermal kaynakların sürdürülebilirliğine ait düzenlemeler tartışılmıştır [146]. Bu çalışmanın devamı olarak Campen ve Petursdottir [145] İzlanda ve Yeni Zelanda için kaynakların mülkiyeti, elektrik piyasası ve çevre yönetmelikleri gibi hususları karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Bu kısımda, Campen ve Petursdottir [145] tarafından hazırlanan çalışmanın ışığında, Yeni Zelanda ve İzlanda'nın jeotermal kaynak kullanımları, jeotermal kaynak mülkiyetleri, elektrik piyasası düzenlemeleri ve çevresel hususlara ait yasal mevzuatları detaylı olarak değerlendirilmektedir.

#### Yeni Zelanda

Yeni Zelanda Jeotermal Derneği verilerine göre ülkenin elektrik üretiminin yaklaşık %20'si jeotermal kaynaklardan karşılanmaktadır [147]. Ülkede bulunan sekiz adet yüksek sıcaklıklı jeotermal alan üzerine kurulu 19 güç santrali, yılda 7500 GWh elektrik enerjisi üretmektedir [147]. Ülkede jeotermal kaynaklar Waikato ve Bay of Plenty bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Kaynak yönetiminden yerel yönetimler yetkilendirilmiş olmakla birlikte Ulusal Politika Beyanları (National Policy Statements - NPS) ve



Ulusal Çevre Beyanları (National Environmental Statements - NES) gibi düzenlemeler yardımıyla yerel yönetimlerin uygulamaları ve faaliyetleri merkezi yönetim tarafından birbiriyle uyumlu hale getirilmektedir. Yeni Zelanda hükümeti tarafından 2008 yayınlanan Elektrik İletimi Ulusal Politika Beyanı [148] ve 2011 yılında yayınlanan Yenilenebilir Elektrik Üretimi Ulusal Politika Beyanı [149] jeotermal projelerin uygulanmasıyla ilgili politikaları kapsamaktadır. Bu yönergelerde, merkezi yönetimin elektrik enerjisi arzındaki yenilenebilir enerji payının artırılması hususu ile bölge konseylerinin çevresel konularda karar alırken uygulamaları beklenen kriterler tanımlanmaktadır. Yeni Zelanda hükümetinin 2025 itibarıyla yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretiminin toplam üretimdeki payını %90'a yükseltme hedefi vardır. Jeotermal ve rüzgar enerjisi uygulamaları bu hedefe ulaşma noktasında büyük önem arz etmektedir [145]. Waikato ve Bay of Plenty bölgelerinde kaynak kapasite düşümünün engellemesi ve kaynakların sürdürülebilirliğinin temini açısından jeotermal alanlarda tek kullanıcının işletme yapmasına izin verilmekteydi. 1990'lı yıllarda yapılan düzenleme ile birden fazla jeotermal üretimin önü açılmış ancak yine de ortak yönetim planlamalarının uygun şekilde yapılması şartıyla çoklu kullanım sistemine izin verilmektedir. Jeotermal kaynağın kullanımında öncelikle arazi sahibinin izni gerekmektedir. Kira sözleşmesi, kısmi hak sahipliği veya ortak yatırımcı olma gibi farklı opsiyonlarla alan kullanımı sağlanabilmektedir. 2013-2017 yıllarını kapsayan döneme ait elektrik üretiminin kaynağa bağlı dağılımı incelendiğinde, %59 hidroelektrik santral, %17 jeotermal enerji ve %5 rüzgar enerjisi olmak üzere toplamda yaklaşık %81'lik payın yenilenebilir enerji kaynaklı üretim olduğu belirtilmektedir [150]. Elektrik enerjisinin yüksek oranda yenilenebilir kaynaklardan üretilmesine rağmen Yeni Zelanda'nın esasen yenilenebilir enerji destek politikasının çok sınırlı olduğu vurgulanmaktadır [145]. 2008 yılında yürürlüğe giren Emisyon Ticaret Planı (Emissions Trading Scheme) takip eden yıllarda farklı hükümetler tarafından desteklenmemiş ve uluslararası iklim değişimi görüşmeleri sonucunda yenilenebilir enerji destekleri düşük seviyelere inmiştir [145]. 2015 yılındaki Paris İklim Değişimi Konferansı sonrasında fiyatlandırma yeniden artarak 10 NZD/ton seviyelerine kadar yükselmiştir. Elektrik toptan satış bedeli nispeten düşük olduğu ve 80-90 NZD/kWh aralığında olduğu belirtilmektedir. Diğer taraftan, artan baskılar nedeniyle fosil yakıt bazlı güç üretim santralleri ya üretimlerini azaltmakta veya tamamen kapatılmaktadır [145]. 250 MWe kapasitesindeki iki adet kömür santralının devre dışı bırakıldığı belirtilmektedir. Gelecek yıllarda daha fazla termik santralin devre dışı bırakılarak jeotermal ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji yatırımlarına önem verilmesi planlanmaktadır [145]. Kaynak Yönetim Kanunu (Resource Management Act - RMA )Yeni Zelanda'da kaynak kullanımını ve çevresel etkilerin yönetimini düzenleyen en temel yasadır. Yasada bölgesel otoritelerin kaynak yönetimine ilişkin uygulayacağı politikalar, kurallar ve kaynak kullanımına ilişkin diğer her türlü yönetsel hususları tanımlamaktadır. Buna göre, her bir bölgesel konseyin Bölgesel Politika Beyanı (Regional Policy Statement - RPS) hazırlaması zorunludur. Buna göre, bölgeye ait entegre yönetim kaynak yönteminin temin edilmesi amacıyla ana kaynak yönetimi konularının, politikalarının ve yöntemlerinin bir taslağı oluşturmalıdır. Bunun yanı sıra, bölgeye ait doğal ve fiziki kaynakların kullanımına ait kuralları içeren Bölgesel Planlar da geliştirilebilir. İlçe meclisleri de saha kullanımına ait tüzükleri oluşturmak zorundadır. Yerelde oluşturulan bu düzenlemeler esas olarak Ulusal Politika Beyanı (National Policy Statement - RPS), Çevre Mahkemesi ve Yüksek Mahkemenin ortak kanunları rehberliğinde işletilmektedir. Özetlenecek olursa, jeotermal uygulamaların çevresel boyutuyla ilgili söz sahibi olan karar alıcı mekanizmalar şu şekildedir [145]:

- Çevre Bakanlığı,
- Bölge Konseyleri,
- İlçe ve Şehir Konseyleri,
- Çevre Mahkemesi ve Yüksek Mahkeme

İlçe/Şehir Konseyleri büyük ölçüde gürültü ve arazi kullanımı konusunda yetkilendirilmiştir. Bölgesel hava ve su kuşakları etkileri ise Bölgesel Konseylerin ilgi alanına girmektedir.

Yeni Zelanda Kaynak Yönetim Kanununa göre, jeotermal ve su kaynaklarının yanı sıra enerji sürdürülebilirliğinin yönetiminden bölgesel yetkililer sorumlu kılınmıştır. Jeotermal kaynaklar tarihler olarak

Yeni Zelanda yerlileri Maori'ler tarafından kullanılmıştır ve bu kaynaklar birer kültür hazinesi olarak görülmektedir. Bu husus, Kaynak Yönetim Kanununda sürdürülebilirliği tanımlandığı ikinci kısım, beşinci bölüm içerisinde şu şekilde belirtilmektedir [145]:

(1) Bu kanunun amacı, doğal ve fiziksel kaynakların sürdürülebilir yönetimini teşvik etmektir,  
(2) Bu kanunda sürdürülebilir yönetim tanımı; doğal ve fiziksel kaynakların, insanların ve toplulukların sosyal, ekonomik ve kültürel refahlarını ve kendi yaşamlarını sağlıklı ve güvenli bir şekilde sağlama-larına imkan verecek bir yolla kullanımının, geliştirilmesinin ve korunmasının yönetilmesi anlamına gelmektedir. Bu bağlamda aşağıdaki hususların gözetilmesi beklenir:

- (a) Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını öngörerek doğal ve fiziksel kaynakların (mineraller hariç) potansiyelinin sürdürülebilirliğinin temin edilmesi,
- (b) Hava, su, toprak ve ekosistemlerin korunması,
- (c) Çevre üzerinde olumsuz etki yaratacak faaliyetlerden kaçınılması, bu hususların düzeltilmesi veya en az olumsuz etki yaratacak şekilde hafifletilmesi.

Doğal ve fiziksel kaynakların kullanımına yönelik oluşturulacak bir önerinin yukarıda belirtilen maddeler ışığında sürdürülebilirlik yönetimini kapsayıp kapsamadığı değerlendirilmektedir. Yeni Zelanda jeotermal kaynaklarının yoğun olarak bulunduğu Taupo Volkanik Bölgesi (Taupo Volcanic Zone - TVZ) yönetimini sağlayan konseylerin Bölgesel Politika Beyanlarında ve Bölgesel Planlarında bu hususlar daha ayrıntılı bir şekilde sunulmaktadır. Bu beyannamelerde, tekil sistemlerin kaynak ve çevresel etkilerinden çok jeotermal kaynağın sürdürülebilir yönetimi ele alınmaktadır. Bölgesel Planlar, bazı sistemleri kalıcı bir şekilde korumayı amaçlamakta, diğerlerinde ise büyük ölçekli jeotermal gelişmeye izin vererek, bölgesel kaynağın bir bütün olarak uzun vadede sürdürülebilir yönetimini hedeflemektedir. Taupo Volkanik Bölgesinde yüksek sıcaklığa sahip tüm jeotermal sistemler enerji potansiyeli, doğal, kültürel ve diğer özellikleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bu kaynaklar (i) büyük ölçekli kullanım, (ii) kısıtlı kullanım, (iii) sadece araştırma amaçlı kullanım ve (iv) tam koruma olmak üzere farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bölgesel ölçekte sahip olunan doğal ve fiziksel kaynakların karakteristik özelliklerinin muhafaza edilerek sürdürülebilirliğinin sağlanması amaçlanmaktadır [145].

### **İzlanda**

İzlanda, Kuzey Amerika ve Avrasya tektonik plakalarının sınırında yer almaktadır. Konumu ve dağlık yapısı nedeniyle özellikle hidrolik ve jeotermal kaynaklar açısından oldukça zengindir. Bölgedeki yüksek volkanik aktivite nedeniyle İzlanda ve çevresi “sıcak-nokta” (hot-spot) olarak değerlendirilmektedir. İzlanda geçmişte fosil kaynak ithal ederek enerji ihtiyacını sağlayan ve günümüz şartlarına göre az gelişmiş olarak nitelendirilebilecek bir yaşam standardına sahipti. Ancak 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi nedeniyle, ülkede alternatif enerji uygulamalarına yönelim başlamıştır. 1985’te İzlanda genelinde konut ısıtması %80 oranında jeotermal kaynaklardan sağlanmaktaydı. 2020 yılında ise neredeyse enerji üretiminin tamamı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır [151]. Enerji üretiminin %69,70’i hidroelektrik santrallerden karşılanırken %30,30’u jeotermal kaynaklardan elde edilmektedir. Petrol ve rüzgarın enerji üretimindeki payları ise sırasıyla %0,01 ve %0,02 olarak belirtilmektedir [151]. 2018 yılı istatistiklerine göre İzlanda’nın jeotermal kurulu kapasitesi 755 MW iken, jeotermal kaynaklı elektrik üretimi 6010 GWh olarak raporlanmıştır.

İzlanda Doğal Kaynaklar Kanunu, jeotermal kaynakların araştırılması ve kullanımını düzenleyen temel yasadır. Yasanın hazırlık aşamasında farklı tasarımlar meclis sunulmuş ancak çeşitli nedenlerle reddedilerek yeniden düzenlenmiştir. Kanun son halini 1998 yılında almış ve yürürlüğe alınmıştır. Reddedilen kanun tasarımlarında arazi sahiplerinin mülkiyetini belirli bir derinlik veya ısı miktarı ile sınırlayan maddeler yer aldığından bunlar uygun görülmemiştir. Meclis üyeleri, bu tarz mülkiyet sınırlamalarının İzlanda anayasasında belirtilen mülkiyet haklarıyla örtüşmediği kanaatine varmıştır. İzlanda yasalarına göre, yer altı kaynakları mülkiyeti arazinin mülkiyetiyle ilişkilendirilmektedir. İzlanda’daki jeotermal

kaynakların idaresi, Yenilik ve Sanayi Bakanlığı'nın himayesi altında İzlanda Ulusal Enerji Kurumu'nun (National Energy Authority of Iceland - NEA) elindedir. NEA, jeotermal kaynaklardan elektrik ve ısı enerjisi elde etmeye yönelik keşif, kullanım ve üretim lisanslarını vermektedir. NEA tarafından sağlanan lisansların dağıtımı, revizyonu ve iptali ile ilgili tüm kararlar Çevre ve Kaynaklarla İlgili Temyiz Kuruluna yapılabilmektedir. Diğer tüm idari kararlara itirazlar ise ilgili bakanlığa sunulmaktadır. Arama ruhsatı, ruhsat sahibine söz konusu kaynağı ruhsat süresi boyunca belirli bir alan içinde arama hakkı vermektedir. Belirli bir coğrafi bölgede yalnızca tek bir tarafa bu tür bir lisans verilmektedir. NEA, söz konusu taraf geçerli bir arama ruhsatına sahip olmadıkça, arazinin sahibinin kendisinin böyle bir araştırmaya başlamış veya başkalarına vermiş olmasına bakılmaksızın, ülkenin herhangi bir yerinde bir arama ruhsatı verebilir. Doğal Kaynaklar Yasasına göre arazi sahibinin keşif yapması için bir arama ruhsatı bir ön koşul değildir, ancak böyle bir ruhsat olmadan başka bir tarafın kendi arazisinde böyle bir ruhsat verilme riskini alacaktır. Hem kamu hem de özel arazide doğal kaynakların aranması için arama ruhsatları verilmektedir. Doğal Kaynaklar Yasasına göre arazi sahibinin keşif yapması için arama ruhsatına sahip olması bir ön koşul değildir, ancak bu büyük bir risk taşımaktadır. Farklı bir yatırımcının bu arazi için ruhsat alma ihtimali söz konusudur. Kamu veya özel mülkiyete ait araziler için benzer uygulama yapılmakta olup, doğal kaynakların tespit edilmesine yönelik arama ruhsatları verilebilmektedir. İzlanda Doğal Kaynaklar Kanununa göre, arama ruhsatının verilmesinden önce konuyla ilgili farklı kurumlardan yazılı görüş bildirmeleri talep edilmektedir. Kanuna göre Çevre Ajansı, İzlanda Doğa Tarihi Enstitüsü ve bazı durumlarda Tatlı Su Balıkçılığı Enstitüsünden görüşler alınmaktadır. Başvuru talebine göre, bahse konu arazinin mülk sahibinin de yazılı görüşüne başvurulabilmektedir. NEA tüm bu yazılı görüşler ve diğer hususları göz önünde bulundurarak arama ruhsatı kararını vermektedir. NEA aynı zamanda kullanım lisansını verme konusunda da yetkili kurumdur. Kullanım lisansı kapsamında lisans sahibi söz konusu kaynağı belirlenen bir süre boyunca Doğal Kaynaklar Kanununda belirtilen miktar ve şartlarda kullanma hakkına sahip olmaktadır. Doğal kaynakların hem kamu hem de özel arazide kullanılması için kullanım lisansları verilmektedir. Lisans kullanım süresi en fazla 65 yıla kadar verilebilmektedir. Kullanım lisanslarının verilmesi prosedürü ayrıca belirli taraflardan yazılı görüş alınmasını gerektirmektedir. Bu durumlarda Çevre Ajansı, Doğa Koruma Ajansı başta olmak üzere Balıkçılık Ajansı ve ilgili belediyelerden görüş alınmaktadır. Arama ruhsatına benzer şekilde, özel durumlarda arazi sahipleri de ayrıca yazılı bir görüş sunma imkanına sahiptirler. NEA hem arama ruhsatı hem de kullanım lisansı başvurularının değerlendirilmesinde sunulan yazılı görüşlerin dışında bir karar verme hakkına sahiptir. Arama ruhsatı sahipleri, ısıtma tesislerinin ihtiyaçları dışında kullanım lisanslarının verilmesi konusunda rüçhan haklarına sahip değildir. NEA kullanım lisansı verirken, kullanımın çevresel ve sosyo-ekonomik boyutlarını da değerlendirmektedir. Planlanan kullanımın çevresel yönleri de dikkate alan bir şekilde gerçekleştirildiği ve kaynağın kullanımının sosyo-ekonomik açıdan yararlı olduğu ve civardaki herhangi bir kullanımın hesaba katıldığı dikkate alınmaktadır.

Yukarıda belirtilen lisansların verilmesi "ilk gelen ilk hizmet eder" esasına göre yapılmaktadır. NEA, belirlediği bir coğrafi bölgedeki arama ve kullanım lisanslarına başvuru için tek bir ilan verebilmektedir. NEA elektrik santrali lisanslarının verilmesinde İzlanda Elektrik Yasasına bağlı hareket etmektedir. Elde edilen lisans, elektrik santrali inşa etme ve işletme hakkı vermektedir. Ancak, 1 MWe nominal kapasitedeki bir elektrik santrali için, santral dağıtım veya iletim şebekesine bağlı olmadıkça böyle bir lisans gerekli değildir. Elektrik yasasının ana hedeflerinden biri yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmektir. Elektrik Yönetmeliği bunu bir adım daha ileri götürerek, bir elektrik santrali lisansının verilmesi için kaynağın yenilenebilir olduğuna dair ön koşulu belirlemiştir. Aksi takdirde elektrik lisansı verilmemektedir.

İzlanda Çevresel Değerlendirme Yasası hangi tür projelerin çevresel etki değerlendirmesine tabi olduğunu belirtmektedir. Kanunun amaçları (1) idari organlar tarafından herhangi bir onay verilmeden önce bir projenin olası olumsuz çevresel etkisinin değerlendirmesini sağlamak, (2) paydaşların ve ilgili tarafların işbirliğini teşvik etmek, (3) projelerin çevresel etkilerini kamuoyuna duyurmak ve (4) olası olumsuz etkilerle karşılaşmak için önlemleri hafifletmek ve halka çevresel etki değerlendirmesi hak-

kında görüş yayınlanmadan önce yorum yapma ve katkıda bulunma fırsatı vermek. Kanun, 50 MWe veya daha fazla kurulu güce sahip tüm santrallerin her zaman çevresel etki değerlendirmesine tabi tutulacağını öngörmektedir. Yüksek sıcaklıktaki jeotermal bölgelerde yapılan derin sondajlar, mineral kaynakların bulunduğu düşük sıcaklıklı alanlarda gerçekleştirilen jeotermal sondajlar veya yüzeyde sıcak su kaynaklarının bulunduğu veya yakın çevresinde 2500 kW veya üzeri brüt güce sahip jeotermal ısıtma sistemi bulunan projeler için de çevresel etki değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Çevresel etki değerlendirmesinin zorunlu olmadığı bu durumların değerlendirilmesi için İzlanda Ulusal Planlama Ajansının görüşü alınmaktadır. NEA'dan bir kullanım lisansı alabilmek için, İzlanda Ulusal Planlama Ajansından nihai bir karar alınmalıdır. Aynı durum elektrik santrali lisansları için de geçerlidir. Arama ruhsatları esas olarak herhangi bir sondaj veya herhangi bir tek arama inşaatına izin vermemektedir. Bu nedenle, ruhsatlandırma öncesinde çevresel değerlendirmeye ilişkin olarak İzlanda Ulusal Planlama Ajansının görüşü gerekmemektedir.

İzlanda'da bir jeotermal kaynağı belirlemenin ilk adımı jeolojik ve jeofiziksel araştırmadır. Kaynağın yerini belirlemek için, jeolojik ve jeokimyasal bulguların yanı sıra diğer jeofizik araştırmalarla desteklenen jeofizik direnç araştırmalarının İzlanda'da çok önemli olduğu kanıtlanmıştır. Öngörülen bir kaynak esasen ilk delme yapılarına kadar kanıtlanmış değildir. İzlanda'da yüksek sıcaklık jeotermal kuyularının başarı oranı%74'tür ve teknoloji ilerledikçe son yıllarda bu oran bazı alanlarda%86'ya kadar yükselmiştir. Kaynağa ait oluşturulan sayısal model ve toplanan bilimsel veriler ışığında, santralin geri ödeme süresi boyunca (genellikle 25-30 yıl) sürdürülebilir bir şekilde ne kadar jeotermal akışkanın çıkarılabileceği değerlendirilmektedir. Kullanım lisansı sahiplerinin söz konusu kaynağın kullanımına ilişkin ayrıntılı bilgi vermesi gerekmektedir. Ayrıca, her bir kullanım lisansında ve eklerinde gerekli bilgilerin ayrıntılı bir listesi tanımlanmıştır. Aylık olarak jeotermal sahadaki her bir kuyudan çıkarılan veya re-enjekte edilen sıvının miktarı, aylık olarak jeotermal rezervuara re-enjekte edilen suyun sıcaklığı, su seviyesinin ölçülebildiği kuyulardaki su seviyesi ölçümlerinin sonuçları ve jeotermal alan içerisinde olup, her üretim kuyusundan gelen akışkan entalpisinin ölçüm sonuçları, jeotermal su ve buharın kimyasal analizi, jeotermal rezervuar simülasyonlarından sonuçlar, jeotermal rezervuardaki değişiklikleri izlemek için yapılan ölçümlerin sonuçları ve en son sondaj sonuçlarına göre jeotermal rezervuarın fiziksel özelliklerinin daha iyi anlaşılmasının bir özeti gibi kapsamlı bilgiler sunulmak zorundadır. Ulusal Kaynaklar yasası uyarınca NEA'ya verilen tüm bilgiler ve sunulan numunelerin analizlerinin sonuçları, lisansın yürürlük süresi boyunca gizli kalacaktır. Daha sonrasında NEA bu tür verileri açık hale getirebilir veya başka lisanslar vermek amacıyla kullanabilir. İzlanda Parlamentosu 2011 yılında Doğa Koruma ve Enerji Kullanımı için Master Plan Yasasını yürürlüğe koymuştur. Yasanın ana hedefi, enerji üretim olanaklarının bulunacağı ve doğa ve kültürel mirasın koruma değerinin kapsamlı bir değerlendirilmesi neticesinde arazinin enerji üretimi ve diğer sosyo-ekonomik değerleri de göz önünde tutularak kullanılmasını sağlamaktır. Master Plan esasen birbirinin zıt kutupları olarak düşünülebilecek “doğanın korunması” ve “enerjinin kullanımı” gibi iki uç nokta arasında uzlaştırma yapmak için bir araçtır.

İzlanda ve Zelanda, jeotermal kaynakları geliştirme konusunda uzun bir geçmişe sahip ve jeotermal uygulamalar konusunda öne çıkan ülkelerdir. Hak sahipliği, kaynak kullanımı ve elektrik piyasası düzenlemelerine ilişkin farklı geçmişleri olmasına rağmen, her ikisi de birbirine bağlı yasalar oluşturarak sürdürülebilir çevre ve enerji düzenlemelerini hayata geçirmişlerdir. Ülkemiz jeotermal kaynakların kullanım geçmişi göz önüne alındığında bu iki ülkeyle benzer tarihsel tecrübeye sahiptir. Kamu ve özel sektör yatırımları neticesinde gelinen nokta olarak jeotermal kullanım kapasitemiz artmış olmasına rağmen, uygulamada çok yönlü sorunlar yaşanmaktadır. Sürdürülebilir enerji kullanımının temini açısından jeotermal enerji kaynaklarımızın gelecek nesillerin de faydası gözetilerek koruma ve geliştirme hususları gözetilerek etkin kullanımı önemlidir. Bu yönde atılması önerilen adımlar ve yol haritaları raporun son kısmında tüm yönleriyle sunulmaktadır.

## 6. SONUÇ ve TAVSİYELER

Ülkemizde jeotermal sektörünün hızlı büyümesi hiç kuşkusuz doğru zamanda ve eşgüdüm ile yapılan mevzuat değişiklikleri ile sağlanmıştır. YEKDEM kanunu ile sadece kapasite artışı değil enerji sektörü ile imalat sektörünün entegrasyonu hedeflenmiş, teknoloji transferi ve ekonomik refah artışına öncelik verilmiştir. Geçen dönem içerisinde ekonomik elektrik potansiyelinin önemli bir kısmı kullanılabilir duruma gelmiştir. Yine aynı dönemde yenilenebilir enerji teknoloji sektöründe yaşanan hızlı gelişme ile verimi artırmış, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde düşüş sağlayarak yenilenebilir enerji yatırımlarını daha rekabetçi pozisyona taşımıştır.

Jeotermal enerji arz güvenliği açısından sunduğu avantajların yanı sıra ısı enerjisi alternatifi ile sektörler arası sinerjiyi desteklemekte; tarım, turizm, imalat ve kentsel altyapı alanlarında fırsatlar sunmaktadır. Ülkemiz jeotermal elektrik enerjisi arzında büyük ilerleme kaydetmekle beraber ısı enerjisi arzında kullanımı bekleyen büyük bir potansiyel vardır. Bu potansiyelin kullanılabilir duruma gelmesi, geçmişte olduğu gibi tüm paydaşların iş birliği ile sağlanabilecektir. Toprak (*jeotermal*) kaynaklı ısı pompaları (TKIP), binaların düşük karbon seviyelerinde ısıtma ve soğutma yüklerinin sağlanmasında, performansları ve enerji verimlilikleri yüksek teknolojilerdendir. TKIP'ları geliştirmekte olan ülkelerde uzun yıllardır kullanılırken, ülkemizde yaklaşık son 22 yıldır konutların ve ticari yapıların ısıtılması ve soğutulmasında uygulanmaktadır. Enerji verimliliği ve çevrenin korunmasına katkı koyan TKIP'ler geleneksel ısıtma ve soğutma sistemlerine önemli bir rakiptir. Bu sistemlerin ülkemizde yaygınlaşmamasındaki en önemli sebep, yeterli farkındalığın oluşturulmaması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, mevzuatların tamamlanmaması ve uygun teşvik mekanizmalarının oluşturulmamasıdır. Ülkemiz gibi jeotermal enerji potansiyeli yüksek, fosil yakıt potansiyeli düşük ve geliştirmekte olan ülkeler için TKIP'ları cazip ve etkin çözüm olabilir. Özellikle, düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar TKIP kullanımı sayesinde verimli bir şekilde değerlendirilmiş olabileceklerdir. Ayrıca, sondaj maliyetlerini düşürmek için, inşaatın yapılacağı yerde fore kazık uygulaması zorunlu ise, bu kazıklardan yararlanılması da mümkündür. Bunun yanı sıra, binanın altındaki toprağın içine veya binanın temelinin içine toprak ısı değiştiricilerini yerleştirmek de başka bir seçenek olarak göz önüne alınabilecek hususlardır [21].

Kuşkusuz, 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu ülkemizde jeotermal kaynaklara ilişkin süreçlerin yönetilmesindeki yasal boşluğu dolduran önemli bir adım olmuştur. Sektörün hızlı bir gelişme sürecine girmesinde de önemli düzeyde katkı sağladığı konusunda da kuşku yoktur. Ancak, 5686 sayılı kanunun uzunca bir süre yasal zeminden yoksun kalan jeotermal sektörünün birikmiş ve çeşitlenmiş sorunlarını çözmekte yetersiz kaldığı da bir gerçektir. Yasal ve mekanizma ile birlikte teknik işleyişteki yetersizlikler sektörde sorun üretmeye devam etmektedir. Bu amaçla yapılması gerekenler şu şekilde sıralanabilir [13]:

- *Süreci doğru yönetmek,*
- *Ülkenin sahip olduğu potansiyeli ortaya çıkarmak,*
- *Kaynağın enerji arzı içindeki payını artırmak,*

Kaynaktan en üst düzeyde yararlanmak için strateji geliştirilmesi önerilen süreçler ise aşağıda sıralanmaktadır [13]:

- *Araştırma ve geliştirme,*
- *Ruhsat hukuku,*
- *İdari yapılanma,*
- *Yasal düzenleme.*

Yukarıda sıralanan dört temel sürece ait yapılması gerekenler Akkuş [13] tarafından maddeler halinde sunulmaktadır:

- *Araştırma ve geliştirme süreci*
  - Uluslararası standartlar düzeyinde araştırma faaliyetlerinin yapılması,
  - Geniş perspektifli projelerin geliştirilmesi,
  - Saklı sistemlerin araştırılması,
  - Araştırmalar etaplar halinde yapılmalı,
  - Metodoloji sistematik çerçevesinde uygulanmalı,
  - Arama dönemi verimli kullanılmalı,
  - Rezervuar bilgileri berraklaştırılmalı.
- *Ruhsat hukukunun yeniden düzenlenme süreci*
  - Rezervuar bütünlüğü gözetilerek ruhsatlandırılmalı,
  - Bloke alan kavramı teknik yaklaşımla değerlendirilmeli,
  - Ruhsat süresi uzatımı geçerli teknik gerekçelerle mümkün olmalı,
  - Rezervuar kapasitesi optimum düzeyde olduğunda hizmete açılmalı,
  - Sürdürülebilirlik esas alınmalı,
  - Sektörün güncel ihtiyaçları gözetilerek ulusal mevzuat iyileştirilmeli.
- *İdari yapılanma, kurumsal ve yönetsel kapasiteyi geliştirme süreci*
  - Çok başlılık ve idari yapılanmadaki dağınıklığın giderilmeli,
  - Merkezi yönetim için “Jeotermal Kaynaklar Daire Başkanlığı” oluşturulmalı,
  - Etkin denetim sistemi sağlanmalı,
  - Ulusal veri tabanı oluşturulmalı,
  - Ulusal veri tabanında derlenen bilgiler “Jeotermal Veri Bankası”nda toplanmalı ve paydaşlara sunulmalı,
  - Jeotermal Kaynaklar Ulusal Stratejisi hazırlanmalı,
  - Lisans başvurularında Jeotermal Kaynaklar Daire Başkanlığının onayı alınmalı,
  - Eşgüdüm içinde karar süreci hızlandırılmalı.
- *Yasal düzenleme süreci*
  - Merkezi yönetim için idari mekanizma yeniden yapılandırılmalı,
  - Ülke enerji portföyünde daha fazla jeotermal enerji kullanımını sağlayacak arama, geliştirme, işletme ve yönetim süreçlerini tanımlamalı,
  - Ruhsat hukuku ve eğitim süreçlerini düzenlemeli,
  - Teşvik ve kredi mekanizmalarıyla risk paylaşım modellerini içermeli,

5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununun oluşturulmasında İçişleri Bakanlığı (İl Özel İdaresi ve Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlıkları (YİKOB)), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (MTA, MAPEG, EİGM, YEGM), Sağlık Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kültür ve Turizm Bakanlığı, İller Bankası, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, EPDK ve diğer ilgili bakanlık ve kurumlardan yetkililerin bulunduğu bir komisyon görev almıştır. Jeotermal sektörü 5685 sayılı kanun ve ilgili yönetmelikler sayesinde kanuni altyapıya kavuşmuş olmasına rağmen kaynağın gelişmesini ve sürdürülebilirliğini etkileyen sorunların çözümü ve mevzuat yetersizliklerinin giderilmesi doğrultusunda yeni düzenleme ve iyileştirme çalışmalarının yapılmasına ihtiyaç vardır. Buna yönelik olarak kanun ve yönetmeliklerde yapılması gereken düzenlemelerin yanı sıra, teşvik ve denetim mekanizmalarının da hem yerel hem de merkezi yapılanma ile gözden geçirilmesi gerekmektedir (Şekil 66).



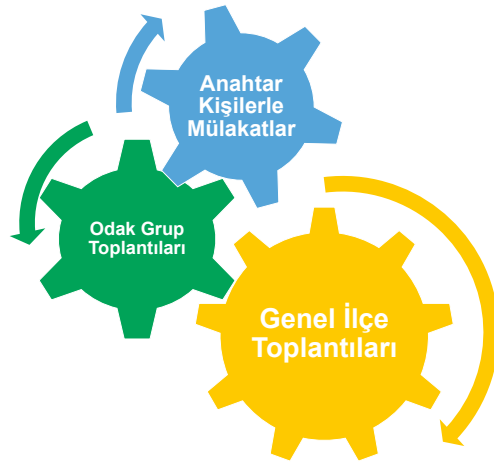
Şekil 66. Jeotermal enerjinin etkin kullanımına yönelik uygulama adımları [117]

Ülkemizin sahip olduğu jeotermal kaynak potansiyelinin tam olarak belirlenmesi ve sürdürülebilir bir şekilde çok yönlü değerlendirilmesi için atılması gereken adımlar ve öneriler aşağıda listelenmiştir:

- Jeotermal kaynakların tek elden izlenmesi ve denetlenmesi için merkezi yapılanmanın (Jeotermal Kaynaklar Daire Başkanlığının kurulması gibi) gerçekleştirilmesi,
- Her kademedeki deneyimli personelin güçlendirilmesi ve düzenli eğitim programlarının düzenlenmesi,
- Ulusal Veri Tabanı oluşturulması ve bilgilerin Jeotermal Veri Bankası'nda toplanması,
- Büyükşehirler bünyesinde etkin bir jeotermal kaynaklar biriminin kurulması (Yerel yapı için önem taşımaktadır),
- "Jeotermal Kaynaklar Ulusal Stratejisi" hazırlanması,
- Projeksiyonların ulusal stratejik plana göre yapılanması, yürütülmesi ve geliştirilmesi,
- Sorun çözücü düzenlemelerin yapılması ve ulusal mevzuatın yenilenmesi,
- Mevcut yasa ve yönetmeliklerde iyileştirmelerin yapılması,
- Merkeze giden katkı paylarının jeotermal izlemeler için yerel yapıya devredilmesi ve yöre halkı için kullanılması,
- Yöre halkının düzenli olarak bilgilendirilmesi ve yerel/bölgesel kalkınmanın gözetilmesi,
- Jeotermal alanında yetişmiş mühendislerin süreçlerde yetki ve sorumluk alması,
- Verilerin detaylı izlenmesi ve paylaşılması için mekanizmaların oluşturulması,
- Jeotermal uygulamalar konusunda lisans ve yüksek lisans düzeyinde uzman mühendislerin yetiştirilmesi,
- AR-GE çalışmalarının artırılması ve bu konuda üniversite/sanayi iş birliğini teşvik edici öncelikli alan projelerinin hazırlanması,
- Jeotermal kaynaklarının bütüncül yaklaşımına yönelik teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi,
- Yanlış uygulamalara ilişkin ceza ve yaptırım mekanizmalarının daha etkin hale getirilmesine ilişkin yönetmenlik ve yönergelerde düzenlemelerin yapılması,

Bunlara ek olarak, proje yöneticileri, jeotermal enerji santrallerinin işletim öncesi ve işletim sürecinde çevresel kaynakları ve projenin etkilerini izlemek için yol planları hazırlamak zorundadır. Kümülatif etki değerlendirmeleri bu amaca yönelik en önemli çalışmalardır. Proje etkilerine ek olarak, değerlendirme kapsamında diğer çevresel etkiler de göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece, etkinin neden olduğu hasarın büyüklüğü ve hasarın en aza indirilmesi gibi işlemler daha hızlı devreye girebilecektir. Aynı zamanda, bu tür çalışmalar yasalar ve direktifler, uzun vadeli planlar ve kapsamlı projeler için temel oluşturabilecektir. Analiz, sürekli izleme ile iyileştirilebilir ve gelişen teknolojilere de bağlı olarak güncellenebilir. Uzun vadede ortaya çıkabilecek sorunlar bu tür çalışmalar yardımıyla tahmin edilebilir. Bu nedenle etki analizleri kısa, orta ve uzun vadeli gelişmeler, sorunlar ve faydalar ile önemli bir değerlendirme yöntemidir [117].

İşletme öncesinde gerçekleştirilecek iyi bir planlama sayesinde yöre halkı ve çevre ile uzun süreli daha pozitif bir ilişkinin sağlanmasını temin edecektir (Şekil 67). İşletme binaları ve iletim boruları için yer seçimi, atık havuzlarının yapılması ve inşaat atıklarının düzenli depolanması gibi önlemler işletme öncesi yapılacak önlemler kapsamında değerlendirilebilecek düzenlemelerdir. İşletme sırasında eğitim alanları, milli parklar ve teknoloji araştırma merkezleri ve jeotermal enerji santralleri gibi tesisler kolaylıkla entegre edilebilir. Bazı örneklerini görebildiğimiz santrallerde boruların ve diğer bileşenlerin doğal arka plana uygun olarak boyanmış veya kamuflle edildiği bilinmektedir. Bu tür iyileştirmeler görsel kirliliği azaltmaktadır. Ayrıca seracılık, termal turizm, sağlık turizmi veya ısıtma gibi entegre uygulamalar santralin bölgeye ekonomik ve sosyal bir getiri sağlamasına katkı koyacak, önyarguların önüne geçilerek toplum için faydalı bir yenilenebilir enerji kaynağı ortaya çıkaracaktır. Bölge halkı için gelir sağlayabilecek bu tür uygulamalar kendi yaşam ve gelir alanlarını sınırlandırdığını belirten yöre halkları için kolayca kabullenilebilir katılımlar sağlayabilecektir. CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>S salımı gaz yakalama sistemleri ile bertaraf edilebilir [125, 129]. Örneğin santrallerden salınan CO<sub>2</sub> gazı günümüzde gazlı içecek sektöründe kullanılabilir. Bu tarz planlamalar ile jeotermal sistemler mevcut faydalarının yanı sıra oldukça fazla entegre ve sosyal getiri sunabilecek potansiyele sahip olacaktır [117].



Şekil 67. İşletme öncesi ortak paylaşım toplantıları [117]

Sonuç olarak, jeotermal alanlardaki çalışmalarda jeotermal kaynaktan ekonomik olarak yararlanmak için alanlarda yapılacak yatırımın yükünün hangi ölçekte ve yeterlilikte karşılanabileceğine yönelik bilgilerin, bilimsel ve teknik temelde üretilmesi temel ilke olarak esas alınmalıdır. Bu araştırma anlayışından yola çıkarak, kaynağın doğru aranması, araştırılması, alanların gerçek kapasitesi ve üretim yeteneğinin belirlenip, işletilebilir özelliklerinin ortaya konulması ve kamu yararı çerçevesinde işletilmesi, kaynağın ekonomiye kazandırılması ve tüketilmesi sürecinde sürdürülebilirliğin sağlanması vazgeçilmez bir yaklaşım olarak görülmektedir. Ülkemiz, jeotermal kaynak potansiyeli açısından önemli bir kapasiteye sahip olmasına rağmen, bu kaynaklardan arzu edilir seviyede yararlanıldığından bahsetmek ne yazık ki mümkün değildir. Kaynakların rasyonel bir şekilde kullanılması, dışa bağımlılıktan kaynaklanan risklerin azaltılması ve enerji kaynaklarımızın öne çıkarılması ülke ekonomisi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda; sahaların mevcut durumunun saptanması, arama ve araştırma-geliştirme projelerinin bir strateji çerçevesinde yürütülmesi, yatırım yapılabilecek sahaların özellik ve önceliklerinin belirlenmesi, yatırım olanakları ve fırsatların saptanması, kullanım ve değerlendirme seçeneklerinin belirlenmesi öne çıkarak öncelikli hedefler arasına yerleşmiştir. Bunların hayata geçirilmesinde aşağıda sıralanan hususların tamamını içeren yasal düzenlemelerin gerçekleştirilmesi kritik bir gerekliliktir [13]:



- Ülke enerji portföyünde daha fazla toplumsal refah üretecek kullanımı sağlama,
- Teşvik, kredi mekanizmaları ve risk–paylaşma modellerini tanımlama,
- İdari yapılanma, ruhsat hukuku, teşvik ve eğitim süreçlerini düzenleme,
- Bilgiye erişimi kolaylaştırma,
- Kaynağın merkezi yönetimi, gelişmesi ve sürdürülebilirlik sorunlarını çözme,
- Süreçlerin tanımlanmasında iyileştirme çalışmalarını içirme,
- Mevzuat yetersizliklerini giderme.

Ülkemiz jeotermal sektörünün hızlı büyümesi hiç kuşkusuz doğru zamanda ve eşgüdüm ile yapılan mevzuat değişiklikleri ile sağlanmıştır. YEKDEM kanunu ile sadece kapasite artışı değil enerji sektörü ile imalat sektörünün entegrasyonu hedeflenmiş, teknoloji transferi ve ekonomik refah artışına öncelik verilmiştir. Geçen dönem içerisinde ekonomik elektrik potansiyelinin önemli bir kısmı kullanılabilir duruma gelmiştir. Yine aynı dönemde yenilenebilir enerji teknoloji sektöründe yaşanan hızlı gelişme ile verim artırmış, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde düşüş sağlanarak yenilenebilir enerji yatırımlarını daha rekabetçi pozisyona taşımıştır. Jeotermal enerji arz, güvenliği açısından sunduğu avantajların yanı sıra sunduğu ısı enerjisi alternatifi ile sektörler arası sinerjiyi desteklemekte; tarım, turizm, imalat ve kentsel altyapı alanlarında fırsatlar sunmaktadır.

Ülkemiz, jeotermal elektrik enerjisi arzında büyük ilerleme kaydetmekle beraber ısı enerjisi arzında kullanımı bekleyen büyük bir potansiyel vardır. Bu potansiyelin kullanılabilir duruma gelmesi, geçmişte olduğu gibi tüm paydaşların iş birliği ile sağlanabilecektir. Jeotermal kaynaklarda oluşan hızlı yatırım büyümesi ve buna bağlı uygulama artışı, beraberinde farklı yan sektörlerin de (türbin üretimi, boru üretimi, kimyasal inhibitör üretimi, sondaj makinesi ve ekipmanları üretimi, danışmanlık, mühendislik vb.) gelişimini sağlamıştır. Bu gelişmelerin devam ettirilebilmesi için de jeotermal sektördeki güçlü ve zayıf yönlerimizin dikkatle ele alınması ve ileriye dönük çok yönlü politikaların titizlikle oluşturulması ve takip edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, jeotermal enerjinin yenilenebilir ve temiz enerji kaynağı olması, zengin kaynak potansiyeli, ekonomik derinlikte elde edilebilirlik, yatırım güvenliği (mevzuat varlığı), teşvikler (elektrik alım garantisi + kamu arazisi tahsisi), dinamik yatırımcı varlığı ve ilgisi, yerinde istihdam ve ekonomiye katkısı nedeniyle yerel ilgi ve destek, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre işletimde kullanım süresi (8500 saat/yıl) ve risk azlığı avantajı gibi güçlü yanlarımızın jeotermal kaynakların daha etkin sürdürülmesinde önemli olduğu ancak, artan yetişmiş uzman eleman ihtiyacı, sondaj (makine parkı yetersizliği) yapacak girişimci ihtiyacı, kaynakların korunması, sürdürülebilir üretim, re-enjeksiyon (geri basma) konularında bilgi düzeyinin artırılması ihtiyacı, sektörde know–how ve tecrübelerin yeterince paylaşılabilmesi, ilk arama ve yatırım maliyeti ve riski, yerli inhibitör ve teknoloji geliştirme amaçlı AR–GE çalışmaları yetersizliği, jeotermal kaynak arama, geliştirme ve işletme aşamasında alınması gereken yasal izin (ÇED, Orman, Sit, Tarım, İmar vb.) süreçlerinin uzun sürmesi, zaman zaman yaşanan denetim eksikliği veya yetersizliği, jeotermal enerjinin muhtemel çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik yatırımcı–yerel halk bilinçlenmesinin sağlanamaması gibi sorunların giderilmesine yönelik de mutlaka adımlar atılması gerektiği değerlendirilmektedir. Ayrıca, önemli jeotermal ısı potansiyelimizin olduğu ülkemizde, konvansiyonel olmayan jeotermal kaynak arama çalışmalarına yönelik (Kızgın kuru kaya, EGS vb.) AR–GE çalışmalarına başlanması ve bu konuda gerek insan kaynağı gerekse de teknoloji aktarımı ve geliştirilmesi konusunda gerekli adımların orta-uzun vadede mutlaka atılması gerektiği değerlendirilmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UDNP). (<https://www.tr.undp.org/>). *Erişim tarihi*: 01.06.2020.
- [2] World Meteorological Organization (WMO). *Statement on the State of the Global Climate in 2019*. WMO–No. 1248, 2020.
- [3] T.C. Dış İşleri Bakanlığı (<http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>). *Erişim tarihi*: 01.06.2020.
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Editörler: V. Masson–Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma–Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield].
- [5] The Climate Council. (<https://www.climatecouncil.org.au/>). *Erişim tarihi*: 01.05.2020.
- [6] IEA, *Global Energy Review 2020: The impacts of the Covid–19 crisis on global energy demand and CO<sub>2</sub> emission*, Nisan, 2020.
- [7] Dincer İ. (2020). *COVID–19 Küresel Salgını: Akıllı Enerji Çözümleri ve Hidrojen Çağına Geçiş*, “Küresel Salgının Anatomisi İnsan ve Toplumun Geleceği”, [Editörler: Muzaffer Şeker, Ali Özer, Cem Korkut]. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Yayınları, Ankara, 2020.
- [8] BP, *BP Statistical Review of World Energy 2020*, 69<sup>th</sup> edition, 2020.
- [9] Özata İ. ve Ölemez T. (2020). TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “*Jeotermal Enerjinin Gelişimi, Fırsatları, Problemleri ve Çözümleri*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [10] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (<https://www.teias.gov.tr/>). *Erişim tarihi*: 01.07.2020.
- [11] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu. (<https://www.enerji.gov.tr/>). *Erişim tarihi*: 01.07.2020.
- [12] US Department of Energy, *GeoVision: Harnessing the Heat Beneath Our Feet*, Mayıs 2019.
- [13] Akkuş İ. (2020). TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “*Türkiye’de Jeotermal Enerji Gerçeği: Potansiyel ve Sorunlara Genel Bir Bakış*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [14] Mertoğlu O. (2020). TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “*Dünyada ve Türkiye’de Jeotermal uygulamalar ve Teknolojiler*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [15] International Renewable Energy Agency (IRENA), *Geothermal Power: Technology Brief*, Abu Dhabi, 2017.
- [16] World Energy Council, *World Energy Resources: 2013 Survey, Chapter 9: Geothermal*. Londra, 2013.
- [17] Huttner GW. (2020). *Geothermal Power Generation in the World 2015–2020 Update Report*. In World Geothermal Congress; International Geothermal Association: Reykjavik, İzlanda.
- [18] Çelmen O. (2020). TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “*Türkiye Jeotermal Enerji Kaynak Potansiyeli ve MTA Genel Müdürlüğü Çalışmaları*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [19] INTERREG (2020). (<http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/darlinge>), *Erişim tarihi*: 01.07.2020.
- [20] Akkuş İ. (2017). *Neden jeotermal enerji? Türkiye için önemi, hedefler ve beklentiler*. Mavi Gezegen Dergisi, 23, 25–39.
- [21] Hepbaşlı A. (2020). TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “*Jeotermal (Toprak) Kaynaklı Isı Pompaları Üzerine Ülkemizde Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [22] EUROSTAT – Statistics Explained. Energy Consumption in Households 2017. ([https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy\\_consumption\\_in\\_households](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households)), *Erişim tarihi*: 19.09.2019.
- [23] Lazzarin R. & Noro M. (2020). Photovoltaic/Thermal (PV/T)/ground dual source heat pump: Optimum energy and economic sizing based on performance analysis. *Energy and Buildings*, 211, 109800.
- [24] Türkiye Cumhuriyeti Şehircilik ve Çevre Bakanlığı. Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi. (<https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800>), *Erişim tarihi*: 31.01. 2020.
- [25] Mcneil C.S.L. & Crawford TK. (1995). Vertical Borehole Ground Loop Heat Pump Installation, Advanced Buildings, Newsletter, 1995 Royal Architectural Institute of Canada, Cilt 1, No. 8, 11 Sayfa, Haziran 1995.
- [26] Hepbaşlı A. & Ertöz Ö. (1999). *Geleceğin Teknolojisi: Yeraltı Kaynaklı Isı Pompaları*. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, IV. Tesisat Kongresi Bildiriler Kitabı, 4–7 Kasım, MMO Yayın No: 229/1, Cilt I, Sayfa: 443–492.
- [27] Lund J.W. (1989). Geothermal Heat Pumps–Trends and Comparisons, Geo–Heat Center. *Quarterly Bulletin* 12(1):1–6.

- [28] Dincer I. & Zamfirescu C. (2012). Renewable-energy-based Multigeneration Systems. *International Journal of Energy Research* 36:1403–1415.
- [29] Georgiev A., Popov R. & Toshkov E. (2020). Investigation of a Hybrid System with Ground Source Heat Pump and Solar Collectors: Charging of Thermal Storages and Space Heating. *Renewable Energy* 147:2774–2790.
- [30] Bottarelli M., Bortoloni M. & Su Y. (2019). On the Sizing of a Novel Flat-Panel Ground Heat Exchanger in Coupling with a Dual-source Heat Pump. *Renewable Energy* 142: 552–560.
- [31] Kayaci N., Demir H., Kanbur B.B., Atayılmaz Ş.O., Agra O., Acet R.C. & Gemici, Z. (2019). Experimental and Numerical Investigation of Ground Heat Exchangers in the Building Foundation. *Energy Conversion and Management* 188:162–176.
- [32] Kayaci N. & Demir H. (2020). Comparative Performance Analysis of Building Foundation Ground Heat Exchanger. *Geothermics* 83:101710.
- [33] Kavanaugh, S.P. & Rafferty, K. (1997). Ground-source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings. *ASHRAE*, 167 pages.
- [34] Ball D.A., Fischer R.D. & Hodgett, D.L. (1983). Design Methods for Ground-source Heat Pumps. *ASHRAE Transact.* 89(2):416–440.
- [35] Couvillion R. J. (1985). Field and Laboratory Simulation of Earth-Coupled Heat Pump Coils. *ASHRAE Transactions. Part 2b*, 91:1326–1334.
- [36] Hughes P.J., Loomis L., O'neil R.A. & Rizzuto J. (1985). Results of the Residential Earth-Coupled Heat Pump Demonstration in Upstate New York. *ASHRAE Transactions, Part 2b*, 91:1307–1325.
- [37] Sulatisky M.T. & Van Der Kamp G. (1991). Ground-Source Heat Pumps in the Canadian Prairies. *ASHRAE Transactions, Part 1*, 97:374–385.
- [38] Boissavy C. (1997). *Ground Source Heat Pump Systems*. Chapter 14, International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy, Geothermal District Schemes [Eds: Dimitrou K., Mertoğlu O. & Popouski K.], Course Text, Makedonya.
- [39] Geothermal Resources Council (GRC). (1998). A Vision for the Future. *Geothermal Bulletin* 27(8):171–178.
- [40] Rybach L. & Sanner B. (2000). Ground-source Heat Pump Systems the European Experience. *Geo-Heat Center Bulletin*. Klamath Falls, OR, Geo-Heat Center.
- [41] Roy D., Chakraborty T., Basu D. & Bhattacharjee B. (2020). Feasibility and Performance of Ground Source Heat Pump Systems for Commercial Applications in Tropical and Subtropical Climates. *Renewable Energy* 152:467–483.
- [42] Lund J.W. & Bo T.L. (2016). Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review. *Geothermics* 60:66–93.
- [43] World Geothermal Congress 2020. (<https://www.wgc2020.com/>), Erişim tarihi: 31.01.2020.
- [44] Hepbaşlı A. & Gunerhan H. (2000). A Study on the Utilization of Geothermal Heat Pumps in Turkey, Japan, *Proceedings of WGC 2000*, pp. 3433–3438.
- [45] Kılıkş B. (1981). Kent Dışı Konutlarda Isı Pompası Kullanımında Toprak Isısından Yararlanma Yöntemleri. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi* 4(1): 21–25.
- [46] Hepbaşlı A. (1985). *Isı Pompası Sistemleri ve Konut Isıtılması*, Yüksek Lisans Tezi (Danışman: Alpin Kemal Dağsöz), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Enerji Programı, İstanbul, 134 Sayfa.
- [47] Babür N. (1986). *Design and Construction of An Earth Source Heat Pump*. Yüksek Lisans Tezi (Yönetici: Rüknettin Oskay), ODTÜ, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, 119 Sayfa.
- [48] Kara Y.A. (1999). *Düşük Sıcaklıktaki Jeotermal Kaynakların Isı Pompası Yardımıyla Bina Isıtmada Kullanımı*. Doktora Tezi (Yönetici: Bedri Yüksel), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 130 Sayfa, 1999.
- [49] Hepbaşlı A. (Yürütücü). *Düşey Toprak Kaynaklı Isı Pompası Kullanılarak Bir Hacmin Isıtılması ve Soğutulması*. Ege Üniversitesi Araştırma Fonu (*Heating and Cooling a Room by using a Vertical Ground-Coupled GSHP*), 2000 (yayınlanmamış).
- [50] Ersöz İ. (2000). *Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Bir Hacmin Soğutulması*. Y. Lisans Tezi (Danışman: Arif Hepbaşlı). Ege Üniversitesi F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- [51] Hancıoğlu E. (2000). *Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası ile Bir Hacmin Isıtılması*. Y. Lisans Tezi (Danışman: Arif Hepbaşlı). Ege Üniversitesi F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- [52] Hepbaşlı A. (2002). Performance Evaluation of a Vertical Ground Source Heat Pump System in Izmir, Turkey. *International Journal of Energy Research* 26(13):1121–1139.
- [53] Korkmaz M. (2015). Türkiye’de Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sistemleri ile Konutların Isıtılmasıyla İlgili Yapılan Bilimsel Çalışmaların Değerlendirilmesi. *Proceedings of Third International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES 2015)*, Polytechnic University of Valencia, Spain, 3–5 Haziran 2015, 1485–1494, (<https://www.isites.info/PastConferences/ISITES2015/ISITES2015/papers/A18-ISITES2015ID237.pdf>), Erişim tarihi: 31.01.2020.
- [54] Esen H. (2000). *Toprak Kaynaklı Isı Pompasına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması*. Y. Lisans Tezi (Danışman: Mustafa İnallı). Fırat Üniversitesi F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [55] İnallı M. & Esen H. (2004). Experimental Thermal Performance Evaluation of a Horizontal Ground-source Heat Pump System. *Applied Thermal Engineering* 24(14/15): 2219–2232.
- [56] Ozgener O. & Hepbaşlı, A. (2005). Experimental Performance Analysis of a Solar Assisted Ground-source Heat Pump Greenhouse Heating System. *Energy and Buildings* 37(1):101–110.

- [57] Özgener Ö. (2005). *Sera Isıtması İçin Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı Bir Isı Pompası Sisteminin Tasarımı ile Enerji, Ekserji ve Eksergoekonomik Analiz Yöntemleri Kullanarak Performansının Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi (Danışman: Arif Hepbaşlı). Ege Üniversitesi F.B.E. Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir.
- [58] Hancıoğlu E. (2006). *Güneş Enerjisi Destekli Toprak Kaynaklı (Jeotermal) Isı Pompalı Bir Kurutucunun Enerji ve Ekserji Analizi*. E.Ü.-F.B.E. Ege Üniversitesi F.B.E. Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir.
- [59] Hancıoğlu Kuzgunkaya E. & Hepbaşlı A. (2007). Exergetic evaluation of Drying of Laurel Leaves in a Vertical Ground-source Heat Pump Drying Cabinet. *International Journal of Energy Research* 31(3):219–328.
- [60] Esen H. (2007). *Düşey Borulu Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Konut İklimlendirme Sistemlerinde Mevsimlik Davranışının Araştırılması*. Doktora Tezi (Danışman: Mustafa İnallı). Fırat Üniversitesi F.B.E, Elazığ.
- [61] Esen H. & İnallı M. (2009). In-situ thermal response test for ground source heat pump system in Elazığ, Turkey. *Energy and Buildings* 41:395–401.
- [62] Coskun S., Pulat E., Unlu K. & Yamankaradeniz R. (2008). Experimental Performance Investigation of a Horizontal Ground Source Compression Refrigeration Machine. *International Journal of Energy Research* 32:44–56.
- [63] Pulat E., Coskun S., Unlu K. & Yamankaradeniz N. (2009). Experimental Study of Horizontal Ground Source Heat Pump Performance for Mild Climate in Turkey. *Energy* 34:1284–1295.
- [64] Benli H. & Durmus A. (2009). Evaluation of Ground-source Heat Pump Combined Latent Heat Storage System Performance in Greenhouse Heating. *Energy and Buildings* 41:220–228.
- [65] Benli H. (2003). A Performance Comparison Between a Horizontal Source and a Vertical Source Heat Pump Systems for a Greenhouse Heating in the Mild Climate Elazığ, Turkey. *Applied Thermal Engineering* 50:197–206.
- [66] Bakirci K., Ozyurt O., Comakli K. & Comakli O. (2011). Energy Analysis of a Solar-Ground Source Heat Pump System with Vertical Closed-Loop for Heating Applications. *Energy* 36:3224–3232.
- [67] Ozyurt O. & Ekinci D.A. (2011). Experimental Study of Vertical Ground-Source Heat Pump Performance Evaluation for Cold Climate in Turkey. *Applied Energy* 88: 1257–1265.
- [68] Akbulut U., Acikgoz O., Kincay O. & Karakoc T.H. (2014). Exergetic Analysis of a Vertical Ground Source Heat Pump System with Wall Heating/Cooling. *Progress in Exergy, Energy, and the Environment* (Editors: Dincer I., Midilli A. & Kucuk H.), Springer International Publishing Switzerland 2014, Chapter 26, pp. 305–312.
- [69] Akbulut U., Utlu Z. & Kincay O. (2016). Exergoenvironmental and Exergoeconomic Analyses of a Vertical Type Ground Source Heat Pump Integrated Wall Cooling System. *Applied Thermal Engineering* 102:904–921.
- [70] Akbulut U., Utlu Z. & Kincay O. (2016). Analysis of a Wall Cooling System using a Heat Pump. *Renewable Energy* 85:540–553.
- [71] Ozdemir M.B. & Özkaya M.G. (2015). Ankara İli Şartlarında Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi. *Journal of Polytechnic* 18(4): 269–280.
- [72] Öztürk M. (2015). *Toprak Kaynaklı Isı Pompalarında Toprak Neminin Isı Pompasının Enerji Tüketimine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi (Danışman: Erdoğan Kılıçaslan), Karabük Üniversitesi F.B.E., Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- [73] Öztürk F. (2017). İTÜ Enerji Enstitüsü Toprak Kaynaklı Isı Pompaları Araştırma Laboratuvarı. Isı Pompası Teknolojileri ve Kullanım Alanları Çalıştayı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü), Ankara, 10 slayt.
- [74] Kılınç F., Buyruk E. & Caner M. (2019). Sivas İli Şartlarında Yatay Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Isıtma ve Soğutma İçin Performans Analizi. *Politeknik Dergisi* 22(4): 1039–1044.
- [75] Kapıcıoğlu A. & Esen H. (2020). Experimental Investigation on using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ethylene Glycol-water Nano-fluid in Different Types of Horizontal Ground Heat Exchangers. *Applied Thermal Engineering* 165:114559.
- [76] Ünal F. (2014). *Güneş Enerjisi Destekli Dikey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Mardin İli İçin Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Doktora Tezi (Danışman: Galip Temir). YTÜ F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [77] Ünal F., Temir G. & Köten H. (2018). Energy, Exergy and Exergoeconomic Analysis of Solar-Assisted Vertical Ground Source Heat Pump System for Heating Season. *Journal of Mechanical Science and Technology* 32(8):3929–3942.
- [78] Hepbaşlı A., Eltez M. & Duran H. (2001). Current Status and Future Directions of Geothermal Heat Pumps in Turkey, *Proceedings of Twenty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University*, Stanford, California, USA, pp. 398–405.
- [79] Çilingiroğlu S. (2011). *Türkiye’de İlk Büyük Toprak Kaynaklı Isı Pompası Uygulaması: Meydan Alışveriş Merkezi*, Sunum, 13–14 Ocak 2011.
- [80] Korun T. (2017). Isı Pompaları. *Isı Pompası Teknolojileri ve Kullanım Alanları Çalıştayı*, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü), Ankara, 38 slayt.
- [81] Yeşil Bina. Yerli Toprak Kaynaklı Isı Pompası Üretiliyor. ([http://www.yesilbinadergisi.com/yayin/710/yerli-toprak-kaynakli-isi-pompasi-uretiliyor\\_21424.html#.XkZcMygzY2w](http://www.yesilbinadergisi.com/yayin/710/yerli-toprak-kaynakli-isi-pompasi-uretiliyor_21424.html#.XkZcMygzY2w)), *Erişim tarihi*: 31.01.2020.
- [82] Cetin A., Kadioglu Y.K. & Paksoy H. (2020). Underground Thermal Heat Storage and Ground Source Heat Pump Activities in Turkey. *Solar Energy* 200:22–28.
- [83] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü). Isı Pompası Teknolojileri ve Kullanım Alanları Çalıştayı. ([http://www.yegm.gov.tr/duyurular\\_haberler/isi\\_pompasi\\_calistay.aspx](http://www.yegm.gov.tr/duyurular_haberler/isi_pompasi_calistay.aspx)), *Erişim tarihi*: 31.01.2020.
- [84] Bayram M. (2017). *Isı Pompası ve Mevzuat*. Isı Pompası Teknolojileri ve Kullanım Alanları Çalıştayı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü), Ankara, 9 slayt.

- [85] Rybach L. & Sanner B. (2017). Geothermal Heat Pump Development: Trends and Achievements in Europe. In: Perspectives for Geothermal Energy in Europe (Ed. R. Bertani), 215–253.
- [86] Korun T. (2017). Isı Pompaları ve Avrupa Pazar Gelişimleri. *Tesisat Dergisi* 264:14–16.
- [87] Karakaya V. TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştay ve Paneli, “Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Üniversitesi Olarak Kırşehir Ahi Evran Üniversitesinde Jeotermal Konusunda Gerçekleştirilen Çalışmalar”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [88] Sezer H.Ç. (2019). *Jeotermal Kaynaklı Bölgesel Isıtma Sistemi, Balçova–Narlidere*, Enerji Verimliliği Forum ve Fuarı, 11–12 Nisan 2019, İstanbul.
- [89] Yiğit K. TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştay ve Paneli, “*Jeotermal Bölge Isıtma Sisteminde (JBIS) Bina Altı Motorlu Debi Kontrol Sisteminin İncelemesi*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [90] Eşrefgil M.F., Sayık T., Yiğit K., Sezer H.Ç. & Arslan E.S. (2019) *Balçova–Narlidere Jeotermal Kaynaklı Bölgesel Isıtma İşletmesi*, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17–20 Nisan 2019, İzmir.
- [91] Elele S. & Çanakçı C. (2001). *Bölgesel Isıtma Sistemleri Isı Merkezleri Tasarımı*, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 3–6 Ekim 2001, İzmir.
- [92] Aksoy N. TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştay ve Paneli, “*Jeotermal Santrallerden Atmosfere Salınan Yoğuşmayan Gazların Jeotermal Rezervuara Enjeksiyonu*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [93] European Bank for Reconstruction and Development (EBRD), *Türkiye’de doğal kaynaklar bazlı CO<sub>2</sub>’nin ticari amaçlar için kullanımının değerlendirilmesi*, 2016.
- [94] Bachu S. (2000). Sequestration of CO<sub>2</sub> in geological media: Criteria and approach for site selection in response to climate change. *Energy Conversion & Management* 41, 953–970.
- [95] Garcia J.E. (2003). *Fluid dynamics of carbon dioxide disposal into saline aquifers*. PhD Dissertation. University of California, Berkeley.
- [96] Rosenbauer R.J., Koksalan T.T. & Palandri J.L. (2005). Experimental investigation of CO<sub>2</sub>–brine–rock interactions at elevated temperature and pressure: Implications for CO<sub>2</sub> sequestration in deep–saline aquifers. *Fuel Processing Technology* 86, 1581–1597, 2005.
- [97] Aksoy N., Gök Ö. & Mutlu H. (2015). *Jeotermal Sahalarda Üretim Sırasında Açığa Çıkan Sera Gazlarının Rezervuara Enjeksiyonu*. TÜBİTAK Pr., No. 119M942.
- [98] Ellis A.J. & Golding R.M. (1963). The solubility of carbon dioxide above 100 degrees C in water and in sodium chloride solutions. *American Journal of Science* 274, 47–60.
- [99] Sutton F.M. (1976). Pressure–temperature curves for a two–phase mixture of water and carbon dioxide (19. Baskı)”, 297–301, *New Zealand: Journal of Science*.
- [100] Bowers T.S. & Helgeson, H.C. (1983). Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system H<sub>2</sub>O–CO<sub>2</sub>–NaCl on phase relations in geologic systems: equation of state for H<sub>2</sub>O–CO<sub>2</sub>–NaCl fluids at high pressures and temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 47, 1247–1275.
- [101] Duan Z. & Sun, R. (2003). An improved model calculating CO<sub>2</sub> solubility in pure water and aqueous NaCl solutions from 273 to 533 K and from 0 to 2000 bar. *Chemical Geology* 193, 257–271.
- [102] Spycher N.F., Pruess K. & Ennis–King J. (2003). CO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O mixtures in the geological sequestration of CO<sub>2</sub> I: Assessment and calculation of mutual solubilities from 12 to 100°C and up to 600 bar. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67, 3015–3031.
- [103] Duan Z., Moller N. & Weare J.H. (1992). Equation of state for the NaCl–H<sub>2</sub>O–CO<sub>2</sub> system: prediction of phase equilibria and volumetric properties. *Geochim, Cosmocim* 59(14), 2869–2882.
- [104] Crittenden J.C., Trussell R., Hand D.W., Howe K.J. & Tchobanoglous G. (2012). *MWH’s water treatment: Principles and design*, John Wiley&Sons, Inc.
- [105] Zhang Y. (2008). *Geochemical Kinetics*, Oxford: Princeton University Press, p.168.
- [106] Pruess K., Oldenburg C. & Moridis G. (1992). TOUGH2 User’s Guide, Earth Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory University of California, Report LBNL–43134.
- [107] Erdoğan E. (2018). *Gediz Grabeni Jeotermal Yapısının Manyetotellürik Verilerin 2B ve 3B Ters Çözümü ile Araştırılması*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara.
- [108] Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü. (<https://www.mta.gov.tr/>), *Erişim tarihi*: 01.07.2020.
- [109] Candansayar M.E. (2016). JFM316 Elektrik Yöntemler Lisans Ders Notu, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2016.
- [110] Candansayar M.E. & Kaya C. (2009). Manyetotellürik ve Doğru Akım Özdirenç Verilerinin İki–Boyutlu Birleşik Ters Çözümü ile Jeotermal Alanların Araştırılması: Model Çalışması, TMMOB Jeotermal Kongresi, 23 – 25 Aralık 2009, Ankara.
- [111] Candansayar M.E. TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştay ve Paneli, “*Jeofizik Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemlerle Jeotermal Aramalar: Yeni Gelişmeler*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [112] Erdoğan E. & Candansayar M.E. (2017). The conductivity structure of the Gediz Graben geothermal area extracted from 2D and 3D magnetotelluric inversion: Synthetic and field data applications. *Geothermics*, 65, 170–179.

- [113] Halaçoğlu U. TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “*Jeotermal Enerji Santrallerinde Çevreci ve Verimlilik Artırıcı Teknolojiler*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [114] Dincer I. (2018). *Comprehensive energy systems*. Elsevier.
- [115] Ratlamwala T.A.H. & Dincer I. (2012). Comparative efficiency assessment of novel multi–flash integrated geothermal systems for power and hydrogen production. *Applied Thermal Engineering* 48, 359–366.
- [116] Ratlamwala T.A.H. & Dincer I. (2014). Energetic and exergetic investigation of novel multi–flash geothermal systems integrated with electrolyzers. *Journal of Power Sources* 254, 306–315.
- [117] Yıldız A. TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “*Afyonkarahisar İlinde Jeotermal Sektöre Yönelik İyi Uygulama Örnekleri*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [118] Bourcier W.L., Lin M. & Nix G. (2005). *Recovery of Minerals and Metals from Geothermal Fluids*. Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, 1–18, CA, ABD.
- [119] Lo Y.C., Cheng C.L., Han Y.L., Chen B.Y. & Chang J.S. (2014). Recovery of high-value metals from geothermal sites by bio-sorption and bioaccumulation. *Bioresource Technology* 160, 182–190.
- [120] Mroczek E., Climo M., Li Y., Evans D., Carey B. & Gao W. (2015). From waste to wealth: mineral extraction from geothermal brines. *World Geothermal Congress*, Melbourne, Australia, 19–25 April 2015, 8s.
- [121] Song X., Chang M.H. & Pecht M. (2013). Rare earth elements in lighting and optical applications and their recycling. *JOM* 65 (10), 1276–1282.
- [122] Demirkapı M. (2019). *Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) bölgesi jeotermal sularından lityum kazanımı*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi FBE Jeoloji Mühendisliği ABD, 64s, Afyonkarahisar.
- [123] Yıldız A., Candansayar M.E., Bağcı M., Türker E., Ulutürk Y., Gökğöz A., Erdoğan E., Başaran C. & Çonkar F. E (2011). Afyonkarahisar ilinin jeotermal potansiyelinin araştırılması. AKÜ BAPK Projesi, 146s, Afyonkarahisar.
- [124] Baba A. TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “*Jeotermal Kaynakların Çevresel Etkileri ve Bunlara Yönelik Yenilikçi Teknikler*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.
- [125] Baba A. (2015). Application of geothermal energy and its environmental problems in Turkey. *Int. J. Global Environmental Issues*, 14, 3/4.
- [126] Baba A. & Årmansson H. (2006) Environmental Impact of the utilization of a geothermal area in Turkey, *Energy Source*, 1, 267–278.
- [127] Baba A., Şimşek C., Gündüz O., Elçi A. & Murathan A. (2015). Hydrogeochemical Properties of Geothermal Fluid and Its Effect on the Environment in Gediz Graben, Western Turkey. *2015 World Geothermal Congress*, 19 – 25 April 2015, Melbourne, Australia.
- [128] Rabet R.S., Simsek C., Baba A. & Murathan A. (2017). Blowout mechanism of Alasehir (Turkey) geothermal field and its effects on groundwater chemistry. *Environmental Earth Sciences*, 76(1), 49.
- [129] Baba A. & Sözbilir H. (2012). Source of arsenic based on geological and hydrogeochemical properties of geothermal systems in Western Turkey Chemical. *Geology* 334, 364–377.
- [130] SIO–Scripps Institution of Oceanography (2019). A daily record of global atmospheric carbon dioxide concentration, (<https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>), *Erişim tarihi*: 04.08.2019.
- [131] Landsvirkjun (2001). A 40 MW increase in the capacity of the Krafla power plant. Environmental impact assessment (In Iceland). Landsvirkjun LV–2001/034, 100 p.
- [132] Topcu G., Koç G., Baba A. & Demir M.M. (2019). The injection of CO<sub>2</sub> to hypersaline geothermal brine: A case study for Tuzla region, *Geothermics* 80, 86–91.
- [133] Battocletti L. (1999). Geothermal resource in Turkey. In Report no. INEEL/EXT–99–01282, Bob Lawrence & Associates, p. 68.
- [134] Çelik A., Topçu G., Baba A., Akdoğan Y., Şentürk, U. & Demir M.M. (2017). Experimental modeling of silicate–based geothermal deposits. *Geothermics* 69, 65–73.
- [135] Çelik A., Topçu G., Isik T., Baba A., Horzum N. & Demir M.M. (2018). Investigation of Lithium Sorption Efficiency Using SWCNT Functionalized Electrospun Fiber Mats from the Hypersaline Geothermal Brine, *Materials Science Forum*, Vol. 915, 121–126.
- [136] Topcu G., Çelik A., Kandemir A., Baba A., Sahin H., Demir M.M. (2019). Increasing solubility of metal silicates by mixed polymeric antiscalants, *Geothermics* 77, 106–114.
- [137] Demir M.M., Baba A., Atilla V. & İnanlı M. (2014). Types of the scaling in hyper saline geothermal system in northwest Turkey. *Geothermics* 50, 1–9.
- [138] Şener M.F. & Baba A. (2019). Geochemical and hydrogeochemical characteristics and evolution of Kozaklı Geothermal fluids, Central Anatolia, Turkey. *Geothermics* 80, 69–77.
- [139] Gökçen G. (2001). Jeotermal enerji uygulamalarının çevresel etkileri. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, İzmir, 18–20 Ocak 2001.
- [140] 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu, Resmi Gazete Yayın Tarihi: 11.12.2007, Resmi Gazete Sayısı: 26727.
- [141] Dinçer E., Saltuk F., Kıvanç Ateş H. & Koçak İ. TÜBA–Jeotermal Enerji Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli, “*Dünya Bankası Türkiye Jeotermal Geliştirme Projesi, Risk Paylaşım Mekanizması*”, Sunum Dokümanları ve Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 19 – 21 Şubat 2020.

- [142] EPDK Elektrik Piyasası Lisans Listesi, (<http://lisans.epdk.org.tr>), *Erişim tarihi*: 28.01.2020.
- [143] 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Resmi Gazete Yayın Tarihi: 18.05.2005, Resmi Gazete Sayısı: 25819.
- [144] Türkiye Kalkınma Bankası (TKB) & Dünya Bankası (WB). (2018). Beneficiary Manual. ([https://rpmjeoturkiye.com/wp-content/uploads/2018/09/RSM-Beneficiary-Manual\\_20180809.pdf](https://rpmjeoturkiye.com/wp-content/uploads/2018/09/RSM-Beneficiary-Manual_20180809.pdf)), *Erişim tarihi*: 28.01.2020.
- [145] Campen B.V. & Petursdottir H. (2016). Geothermal Sustainability Regulation in Iceland and New Zealand. *European Geothermal Congress 2016*, 19-24 Sept 2016, Strasbourg, France.
- [146] Campen B.V. & Rai K. (2015). *Geothermal Policy and Regulation-Cases from Chile, Kenya, New Zealand and the Philippines*. IRENA - Technical Report.
- [147] Yeni Zelanda Jeotermal Derneği, (<https://nzgeothermal.org.nz/>), *Erişim tarihi*: 10.08.2020.
- [148] Yeni Zelanda Çevre Bakanlığı. (2008). National Policy Statement on Electricity Transmission, (<https://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/nps-electricity-transmission-s32-evaluation-mar08.pdf>), *Erişim tarihi*: 10.08.2020.
- [149] New Zealand National Policy Statement for Renewable Electricity Generation 2011, (<https://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/nps-electricity-transmission-s32-evaluation-mar08.pdf>), *Erişim tarihi*: 10.08.2020.
- [150] Electricity in New Zealand (2018). (<https://www.ea.govt.nz/dmsdocument/20410-electricity-in-new-zealand>), *Erişim tarihi*: 10.08.2020.
- [151] Iceland Renewable Energy Cluster. (2020). Overview - Energy Market & Geothermal Energy. (<https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2020/May/Overview--Energy-Market--Geothermal-Energy--Iceland.pdf?la=en&hash=6303B-09B654AEE9D7F05C82E19D3C29A9DAF62B1>), *Erişim tarihi*: 10.08.2020.

**TÜBA–JEOTERMAL ENERJİ TEKNOLOJİLERİ  
ÇALIŞTAYI ve PANELİ PROGRAMI**  
**19 – 20 Şubat 2020**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi – Afyonkarahisar**

**19 Şubat 2020**

**Açılış ve Protokol Konuşmaları**

*Prof. Dr. İbrahim DİNÇER, TÜBA–Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü*  
*Prof. Dr. Mehmet KARAKAŞ, Afyon Kocatepe Üniversitesi Rektörü*  
*Prof. Dr. Muzaffer ŞEKER, TÜBA Başkanı*  
*Mustafa TUTULMAZ, Afyonkarahisar Valisi*

**I. OTURUM**

**Oturum Başkanı:** *Prof. Dr. Ahmet YILDIZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi*

**Dünyada ve Türkiye’de Jeotermal Uygulamalar ve Teknolojiler**  
*Fahri Prof. Orhan MERTOĞLU, Türkiye Jeotermal Derneği Başkanı*

**Bölgesel Kalkınma Odaklı Misyon Üniversitesi Olarak Kırşehir Ahi Evran  
Üniversitesi’nde Jeotermal Konusunda Gerçekleştirilen Çalışmalar**  
*Prof. Dr. Vatan KARAKAYA, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Rektörü*

**Jeotermal Enerjinin Gelişimi, Fırsatları, Problemleri ve Çözümleri**  
*İlker ÖZATA, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Jeotermal ve Biyokütle Enerjisi Grubu Koordinatörü*

**Ömer–Gecek (Afyonkarahisar) Bölgesinde Jeotermal Suların Entegre Kullanımı**  
*Dr. Yusuf ULUTÜRK, Afyon Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş., Genel Müdürü*

**II. OTURUM**

**Oturum Başkanı:** *Prof. Dr. Kamil KAYGUSUZ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, TÜBA Asli Üyesi*

**Jeotermal Enerji: Türkiye ve Dünyada Durum**  
*Prof. Dr. Sadık KAKAÇ, TOBB ETÜ, TÜBA Şeref Üyesi*

**Jeotermal Kaynaklı Yeni Enerji Seçenekleri ve Alternatif Çıktılar**  
*Prof. Dr. İbrahim DİNÇER, TÜBA–Enerji Çalışma Grubu Yürütücüsü*

**Jeotermal Kaynakların Çevresel Etkileri ve Bunlara Yönelik Yenilikçi Teknikler**  
*Prof. Dr. Alper BABA, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Rektör Yardımcısı*

**Afyonkarahisar İlinde Jeotermal Sektöre Yönelik İyi Uygulama Örnekleri**  
*Prof. Dr. Ahmet YILDIZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dekanı*

**Jeofizik Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemlerle Jeotermal Aramalar: Yeni Gelişmeler**  
*Prof. Dr. M. Emin CANDANSAYAR, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dekanı*

**III. OTURUM**

**Oturum Başkanı:** *Prof. Dr. Erol ARCAKLIOĞLU, Yıldırım Beyazıt Ü., TÜBA Enerji Çalışma Grubu Üyesi*

**Türkiye’de Jeotermal Enerji Gerçeği: Potansiyel ve Sorunlara Genel Bir Bakış**  
*İbrahim AKKUŞ, Jeoloji Mühendisleri Odası, Bilimsel Teknik Kurul Üyesi*

**Jeotermal Santrallerden Atmosfere Salınan Yoğuşmayan Gazların Jeotermal  
Rezervuara Enjeksiyonu**  
*Prof. Dr. Niyazi AKSOY, Dokuz Eylül Üniversitesi, JENARUM Müdürü*



**Üniversitelerin Jeotermal Kaynaklarla Isıtılması ve Termal Kaynakların Sağlık Alanında Kullanımı Üzerine Tecrübe Paylaşımı**

*Prof. Dr. Mustafa SOLAK, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, TÜBA Asli Üyesi*

**Jeotermal Enerji Santrallerinde Çevreci ve Verimlilik Arttırıcı Teknolojiler**

*Ural HALAÇOĞLU, Zorlu Enerji Grubu, Proje Geliştirme Birimi Yöneticisi*

**Jeotermal Bölge Isıtma Sisteminde (JBIS) Bina Altı Motorlu Debi Kontrol Sisteminin İncelemesi**

*Koray YİĞİT, İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş., Teknik Hizmetler Uzmanı*

**IV. OTURUM**

*Oturum Başkanı: Doç. Dr. Mehmet Akif EZAN, Dokuz Eylül Üniversitesi*

**Türkiye Jeotermal Enerji Kaynak Potansiyeli ve MTA Genel Müdürlüğü Çalışmaları**

*Oktay ÇELMEN, MTA, Jeotermal Koordinatörü*

**Jeotermal (Toprak) Kaynaklı Isı Pompaları Üzerine Ülkemizde Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi**

*Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI, Yaşar Üniversitesi, TÜBA Asli Üyesi*

**Jeotermal Enerji Yatırımlarının Finansmanı, Teknik ve Çevresel Unsurları**

*Tulu ERTEM, TSKB, Mühendislik ve Teknik Danışmanlık Müdürlüğü Grup Yöneticisi*

**Türkiye Jeotermal Geliştirme Projesi: Risk Paylaşım Mekanizması**

*Hilal KIVANÇ ATEŞ, Kalkınma ve Yatırım Bankası, Kıdemli Uzman*

**Günün Değerlendirmesi**

**20 Şubat 2020**

**PANEL 1: Jeotermal Enerji Mevzuatları, Stratejileri ve Teknik Boyutları**

*Moderatör: Prof. Dr. Bahri Şahin, Yıldız Teknik Üniversitesi Rektörü, TÜBA Asli Üyesi*

*İbrahim AKKUŞ, JMO, Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Komisyonu Başkanı*

*Prof. Dr. Alper BABA, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Rektör Yardımcısı*

*Nusret GÜNGÖR, Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, Jeotermal Enerji Koordinatörü*

*Fahri Prof. Orhan MERTOĞLU, Türkiye Jeotermal Derneği Başkanı*

*İlker ÖZATA, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Jeotermal ve Biyokütle Enerjisi Grubu Koordinatörü*

*Koray YİĞİT, İzmir Jeotermal Enerji San. ve Tic. A.Ş., Teknik Hizmetler Uzmanı*

**PANEL 2: Jeotermal Yatırımlar, Finansal Mekanizmalar ve Yapılması Gerekenler**

*Moderatör: Prof. Dr. Adnan Midilli, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi*

*TÜBA Enerji Çalışma Grubu Üyesi*

*Tulu ERTEM, TSKB, Mühendislik ve Teknik Danışmanlık Müdürlüğü Grup Yöneticisi*

*Ural HALAÇOĞLU, Zorlu Enerji Grubu, Proje Geliştirme Birimi Yöneticisi*

*Fahri Prof. Orhan MERTOĞLU, Türkiye Jeotermal Derneği Başkanı*

*Ayşe Yasemin ÖRÜCÜ, Dünya Bankası, Enerji Uzmanı*

*Dr. Yusuf ULUTÜRK, Afyon Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürü*

*Oktay ÇELMEN, MTA, Jeotermal Koordinatörü*

**Değerlendirme ve Kapanış Konuşmaları**







## TÜBA-ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİ RAPORU

TÜBA-Enerji Çalışma Grubu tarafından “Enerji Depolama Teknolojileri” adlı, kamu ve özel sektör ile üniversite temsilcilerinden oluşan geniş kapsamlı bir çalıştay ve panel düzenlendi. Çalıştay kapsamında hazırlanan raporda bildiriler ve literatürde öne çıkan güncel bilimsel çalışmalar temel alındı.

Raporun ilk bölümünde küresel ölçekte ve ülkemiz özelinde enerji tüketim istatistikleri karşılaştırmalı olarak sunulduktan sonra gelecek projeksiyonları özetlenerek enerji depolama uygulamalarının öne çıkan avantajlarına değinildi. İkinci bölümde enerji depolama teknikleri sınıflandırılarak kapasite ve kullanım alanlarına göre öne çıkan yöntemler detaylı bir şekilde açıklandı. Yer altında gaz depolama, ısı depolama, buzdaki enerji depolama, faz değişimli ısı depolama, elektrikten ısı depolama, pompaj enerji depolama, hidrojen enerji depolama ve batarya teknolojilerine ait temel bilgiler ile güncel gelişmeler ve araştırma sonuçları özetlendi. Ülkemizdeki farklı üniversitelerde, kamu kurumlarında veya konuyla ilgili firmalarda enerji depolama teknolojileri üzerine gerçekleştirilen bilimsel çalışmalara ait örnekler paylaşıldı. Raporun son bölümünde ise ülkemizdeki yenilenebilir enerji yatırımları ve büyük ölçekli doğal gaz depolama yatırımları ile enerjide öne çıkan yeni trendlere ve etkinliğin panel kısmında gündeme gelen konuların yanı sıra tavsiyelere yer verildi. Enerji depolama yatırımlarının artırılması, ürün geliştirme, araştırma, inovasyon ve teknoloji geliştirme çalışmaları konularında politikalar ve stratejiler hakkında görüş ve öneriler sunuldu.

Rapor'a [www.tuba.gov.tr](http://www.tuba.gov.tr) adresi üzerinden ulaşılabilir.



## TÜBA-TEMİZ KÖMÜR TEKNOLOJİLERİ RAPORU

Kömür, endüstri devrimini takiben 19. ve 20. yüzyıllardan itibaren gündelik hayatımızı şekillendiren en önemli unsurlardan birisi olmuş; buharlı güç çevrimlerinden, elektrik santralleri ve ısıtma uygulamalarına kadar pek çok alanda birincil enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu süreçte, bir çok alternatif enerji kaynağı ortaya çıkmış olmasına ve kömürün çevreye olan etkileri nedeniyle yoğun şekilde tartışılmasına rağmen, kömürün kullanımından vazgeçilmemiştir. Günümüzde ise kömür hala gelişmiş pek çok ülkede elektrik üretiminde en yaygın kullanılan enerji kaynağıdır ve yakın gelecekte de bu lider konumunu sürdürmesi beklenmektedir. Bu sebeplerden ötürü, mevcut kömür rezervleri ve kömür enerjisi teknolojilerinin çevresel etkileri de göz önünde bulundurularak, kömürün en doğru şekilde kullanımına yönelik politika ve stratejilerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu bağlamda TÜBA-Temiz Kömür Teknolojileri Çalıştay ve Paneli yapılmış ve neticesinde bu rapor derlenmiştir. Rapor da ülkemizin enerji ithalatını azaltmada kömür rezervlerinin ve temiz kömür teknolojilerinin daha verimli kullanılabilmesi için uygulanabilir çözüm, politika ve strateji önerileri ile ortaya koymak ve ülkemizin sürdürülebilir kalkınmasına katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

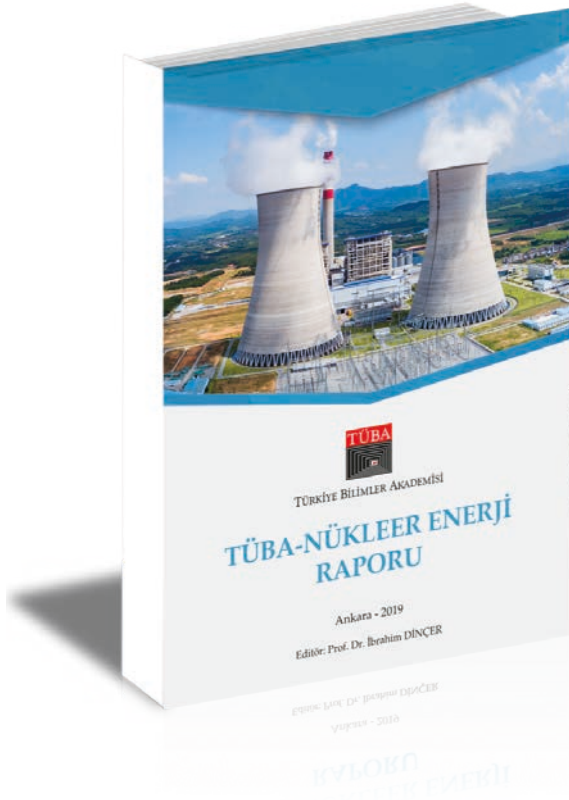
Rapor'a [www.tuba.gov.tr](http://www.tuba.gov.tr) adresi üzerinden ulaşılabilir.



## TÜBA-GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ RAPORU

Artan nüfus, teknolojik gelişmeler ve beraberinde gelen yükselen yaşam standartları enerji ihtiyacında artışa neden olmuştur. Fosil yakıtların çevresel etkileri ve sürdürülebilir olmaması göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu sebeple, elektrik üretiminde yer alan politik, ekonomik ve çevresel problemlerle baş etmek için, yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişmesine olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Tüm bu nedenlerden ötürü, Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) bünyesinde oluşturulan "Enerji Çalışma Grubu" tarafından güneş enerjisi teknolojileri başlığı altında; kamu ve özel sektör ile üniversite temsilcilerinden oluşan geniş kapsamlı bir çalıştay ve panel düzenlenmiştir. Sunulan bildiriler temel alınarak, güncel literatürden alanında öncü bilimsel çalışmaların da derlenmesiyle bu rapor hazırlanmıştır.

Rapor'a [www.tuba.gov.tr](http://www.tuba.gov.tr) adresi üzerinden ulaşılabilir.



## TÜBA-NÜKLEER ENERJİ RAPORU

Nükleer güç santrallerinin bugünü ve ülkemizdeki durumunun incelendiği Nükleer Enerji Raporu'nda; elektrik enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların katkıları mercek altına alınıyor ve 2023 hedeflerine işaret ediliyor, Türkiye enerji bakımından Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırılıyor. Türkiye'nin gelişmekte olan bir ülke olduğundan hareketle endüstriyel bakımdan gelişmiş olan ülkelerin fosil yakıtları, hidrolik santralleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirerek, nükleer santralleri kurmuş olduğu vurgulanarak, nükleer enerjiye giden yolu aydınlatan bilim insanlarına dikkat çekiliyor. Nükleer bombanın gerçekleştirilmesi ve sonunda açığa çıkan muazzam enerjinin kontrolü için yapılan çalışmalarla füzyon reaksiyonunun nasıl kontrol altına alındığı anlatılırken, nükleer güç santrallerinin dünyada nasıl yayıldığı örneklerle gösteriliyor.

Rapor'a [www.tuba.gov.tr](http://www.tuba.gov.tr) adresi üzerinden ulaşılabilir.



## TÜBA-RÜZGAR ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ RAPORU

Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Raporu'nda rüzgâr enerjisi teknolojileri önce sınıflandırılmış, tarihsel ve teknolojik gelişim süreçleri incelenmiş, ülkemizdeki ve dünyadaki kullanım alanları ele alınmış ve ülkemizdeki rüzgâr enerjisi potansiyeli üzerinden yeni açılımların değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur. Ayrıca rüzgâr enerjisinde eğitimin boyutu ve bu bunun için gerekli olan önerilere de yer verilmiştir.

Rapor'a [www.tuba.gov.tr](http://www.tuba.gov.tr) adresi üzerinden ulaşılabilir.



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ

Piyade Sokak No: 27, 06690 Çankaya/ANKARA  
Tel: +90 (312) 442 29 03 Faks: +90 (312) 442 72 36

 [www.tuba.gov.tr](http://www.tuba.gov.tr)

 [www.facebook.com/TUBAakademi](https://www.facebook.com/TUBAakademi)

 [twitter.com/TUBAakademi](https://twitter.com/TUBAakademi)

